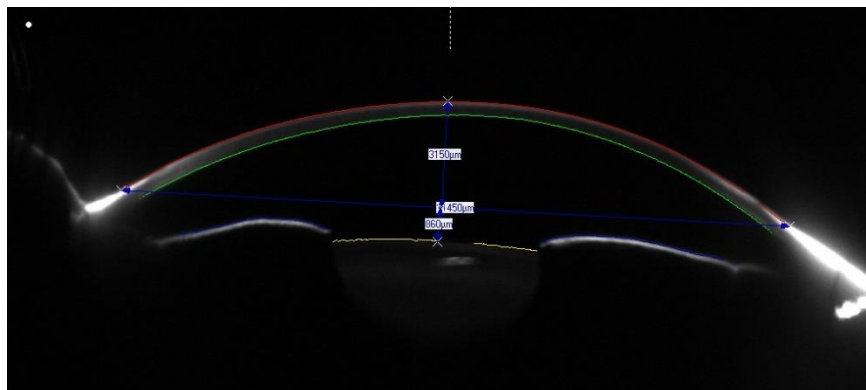




MASTER EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

TRABAJO DE FINAL DE MASTER

EVALUACIÓN DE LA SAGITA CORNEAL EN OJOS CON QUERATOCONO



ALUMNO: JOFRE BELTRÁN ARENILLAS

DIRECTORES: JOAN GISPETS PARCERISAS
NÚRIA LUPON BAS
DEPARTAMENTO DE ÓPTICA I OPTOMETRÍA

Fecha de lectura: Junio del 2017



MASTER EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

El Sr. Joan Gispets Parcerisas, y la Sra. Núria Lupon Bas como directores del trabajo

CERTIFICAN

Que el Sr. Jofre Beltrán Arenillas ha realizado bajo su supervisión el trabajo “Evaluación de la sagita corneal en ojos con queratocono” que se recoge en esta memoria para optar al título de Master en Optometría y Ciencias de la Visión.

Y para que conste, firmo este certificado

Sr Joan Gispets Parcerisas

Director del trabajo

Sra. Núria Lupon Bas

Directora del trabajo

Terrassa,..... de..... de 2017



MASTER EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

EVALUACIÓN DE LA SAGITA CORNEAL EN OJOS CON QUERATOCONO

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la profundidad sagital corneal en pacientes con queratocono en el meridiano donde se encuentra el ápex del mismo, la cual se tendrá en cuenta en el diseño y/o adaptación de lentes de contacto a usuarios con esta afectación.

Método: Un total de 52 ojos, 27 ojos con queratocono incipiente y 25 con queratocono avanzado fueron evaluados. Se identificó la posición del ápex del queratocono y se midió el diámetro corneal y la profundidad de la sagita corneal en el meridiano del ápex. Además, se obtuvieron los valores queratométricos del radio más curvo y más plano, el Best Fit Sphere, la potencia del ápex del queratocono y la profundidad de la cámara anterior. Se realizó una correlación de la profundidad de la sagita corneal en el ápex del queratocono con los demás parámetros evaluados. Algunos de los parámetros fueron recogidos por el *software* del instrumento Pentacam HR, mientras que otros han requerido cálculos adicionales, basados en mediciones manuales con las herramientas del propio instrumento realizadas en las imágenes de Scheimpflug.

Resultados: Se encontró una correlación estadísticamente significativa de la profundidad de la sagita corneal en el meridiano del ápex del queratocono con el diámetro corneal ($p\text{-value} < 0.0001$, $R^2 = 0.7548$). No se observaron diferencias estadísticas en la profundidad de la sagita corneal entre queratoconos incipientes y avanzados ($p\text{-value} > 0.05$). A partir del diámetro corneal y la profundidad de la sagita corneal evaluados, se propuso una hipotética caja de lentes de contacto de prueba para casos de queratocono con un rango de diámetros de 9.79 mm hasta 10.77 mm y con un rango de sagitas de 2411.96 μm hasta 3106.66 μm .

Conclusiones: La posición más frecuente del queratocono se encuentra en el cuadrante temporal inferior, en el meridiano de 20°-40° del ojo derecho (27.50% de la muestra) y en el meridiano de 120°-140° en el ojo izquierdo (24.44% de la muestra). Según el estudio realizado, el diámetro corneal en el meridiano del ápex del queratocono es el único parámetro con suficiente capacidad de predicción para utilizar como guía clínico para determinar la sagita.



MASTER EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

AVALUACIÓ DE LA SAGITA CORNEAL EN ULLS AMB QUERATOCON

RESUM

Objectiu: Avaluar la profunditat sagital corneal en pacients amb queratocon en el meridià on es troba l'àpex del queratocon, la qual es tindrà en compte en el disseny i/o adaptació de lents de contacte a usuaris amb aquesta afectació.

Mètode: Un total de 52 ulls, 27 ulls amb queratocon incipient i 25 amb queratocon avançat van ser avaluats. Es va identificar la posició de l'àpex del queratocon i es va mesurar el diàmetre corneal i la profunditat de la sagita corneal en el meridià de l'àpex. A més, es van obtenir els valors queratomètrics del radi més corbat i més pla, el Best Fit Sphere, la potència de l'àpex del queratocon i la profunditat de la càmera anterior. Es va realitzar una correlació de la profunditat de la sagita corneal en l'àpex del queratocon amb els demás paràmetres avaluats. Alguns dels paràmetres van ser recollits pel *software* de l'instrument Pentacam HR, mentre que altres han requerit de càlculs addicionals, basats en mesures manuals amb les eines del propi instrument realitzades en les imatges de Scheimpflug.

Resultats: Es va trobar correlació estadística significativa de la profunditat de la sagita corneal en el meridià de l'àpex del queratocon amb el diàmetre corneal ($p\text{-value} < 0.0001$, $R^2 = 0.7548$). No es van observar diferències en la profunditat de la sagita corneal entre queratocons incipients i avançats ($p\text{-value} > 0.05$). A partir del diàmetre corneal i la profunditat de la sagita corneal avaluats, es va proposar una hipotètica caixa de lents de contacte de prova per a casos de queratocon amb un rang de diàmetres de 9.79 mm fins a 10.77 mm i amb un rang de sagites de 2411.96 μm fins 3106.66 μm .

Conclusions: La posició més freqüent del queratocon es troba en el quadrant temporal inferior, en el meridià de 20°-40° en l'ull dret (27.50% de la mostra) i en el meridià de 120°-140° en l'ull esquerre (24.44% de la mostra). Segons l'estudi realitzat, el diàmetre en el meridià de l'àpex del queratocon és l'únic paràmetre amb suficient capacitat de predicció per a utilitzar com a guia clínic per determinar la sagita.



MASTER EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

EVALUATION OF SAGITTAL CORNEAL IN KERATOCONIC EYES

ABSTRACT

Purpose: Evaluate sagittal corneal depth in patients with keratoconus at the meridian where the apex of keratoconus was found, which will be used in the design and/or adaptation of contact lenses to users with this affectation.

Method: A total of 52 eyes, 27 eyes with incipient keratoconus and 25 with advanced keratoconus were evaluated. The position of the keratoconus was identified and corneal diameter and corneal sagittal depth on the meridian of the apex were measured. In addition, keratometric values of curved and flattest radius, Best Fit Sphere, power of the apex of the keratoconus and anterior chamber depth were obtained. A corneal sagittal depth correlation was performed at the apex of the keratoconus with the other parameters evaluated. Some of the evaluated parameters were collected from the Pentacam HR software, others required additional calculation, based on manual measurements conducted on the Scheimpflug images.

Results: Statistically significant correlation was found between corneal sagittal depth at the meridian of keratoconus apex and corneal diameter ($p\text{-value} < 0.0001$, $R^2 = 0.7548$). No statistical differences were found in corneal sagittal depth between incipient and advanced keratoconus ($p\text{-value} > 0.05$). From the corneal diameter and sagittal corneal depth evaluations, a hypothetical contact lens case was proposed for keratoconus cases with diameters range from 9.79 mm to 10.77 and sagittal range of 2411.96 μm to 3106.66 μm

Discussion: The most frequent position of keratoconus is in the inferior temporal quadrant, at the meridian of 20°-40° for the right eye (27.50% of the sample) and at the meridian of 120°-140° for the left eye (24.44% of the sample). According to the study, cornea diameter at the meridian of keratoconus apex, is the only parameter with sufficient predictive capacity to use as a clinical guide to determine sagitta.

INTRODUCCIÓ	8
MARCO TEÓRICO	9
1. CÓRNEA	9
1.1 Anatomía corneal	9
2. QUERATOCONO	12
2.1 Cambios histológicos	12
2.2 Clasificación	13
2.2.1 Clasificaciones evolutivas	14
2.2.2 Clasificaciones morfológicas	16
2.3 Diagnóstico diferencial	19
2.4 Signos y síntomas	20
2.5 Diagnóstico clínico	21
2.5.1 Pentacam HR para el diagnóstico clínico	21
2.6 Pronóstico	25
2.7 Tratamiento	26
2.7.1 Tratamiento mediante lentes de contacto	27
2.7.1.1 Tipos de lente de contacto	27
2.7.1.2 Diseño de las lentes de contacto	30
2.7.1.3 Elección del diseño correcto	31
2.8 Complicaciones	32
3. ESTUDIO	35
3.1 Objetivo general	35
3.2 Objetivos específicos	35
3.3 Participantes	35
3.4 Material	35



3.5 Método	36
3.5.1 Procedimiento Pentacam HR	36
3.5.2 Otras medidas y cálculos efectuados	42
3.6 Resultados	44
3.6.1 Histograma de la orientación del meridiano del queratocono	44
3.6.2 Análisis estadístico y cálculo del diámetro corneal	46
3.6.3 Análisis estadístico y cálculo de la profundidad sagital corneal	46
3.6.4 Correlación de la profundidad sagital corneal	46
4. DISCUSIÓN.....	53
5. CONCLUSIONES	55
6. BIBLIOGRAFÍA	56
7. ANEXOS	60
I Estudio del diámetro del iris vertical visible (VVID)	60
II Citaciones de las clasificaciones del queratocono en la literatura científica	61

INTRODUCCIÓN

El queratocono es una enfermedad clasificada dentro de las ectasias corneales, suele aparecer en la segunda década de vida y normalmente cursa de forma bilateral y asimétrica. Se caracteriza por un adelgazamiento progresivo de la córnea y una protrusión anterior en forma cónica típicamente inferior al centro, propiciando un astigmatismo irregular, miopía y otros impedimentos visuales severos.

Son varias las opciones de tratamiento disponibles para el queratocono, la mejor opción posible para cada paciente irá en función de la severidad de la enfermedad. Una reducción de la agudeza visual provocada por el queratocono se corrige inicialmente con gafas, cuando las gafas no logran corregir adecuadamente la agudeza visual, las lentes de contacto son la siguiente opción.

Las lentes de contacto juegan un papel muy importante en el tratamiento del queratocono y aunque su adaptación no detiene la progresión del queratocono, éstas ofrecen una buena visión al paciente. Las lentes enmascaran la córnea irregular y ejercen de nueva superficie refractiva del ojo gracias a la película lagrimal que llena el espacio entre la superficie posterior de la lente de contacto y la superficie anterior corneal

Estas lentes poseen una curva posterior central curvada para el cono y curvas periféricas más planas para aproximar la curvatura periférica a la normalidad y asegurar un cómodo ajuste. La dificultad en la parametrización del radio de curvatura posterior de la lente de contacto debido a la irregularidad corneal está propiciando nuevas metodologías de adaptación, basándose en otro parámetro, la profundidad de la sagita corneal. Dicho parámetro permite una mejor caracterización de las lentes de contacto para este tipo de córneas y en consecuencia una mejor adaptación.

MARCO TEÓRICO

1. CÓRNEA

La córnea es la estructura más externa y transparente del ojo, en una persona adulta mide aproximadamente entre 11-12.5 mm en su diámetro horizontal y 10.5-11.5 mm en el vertical, y es más fina en el centro (una media de 0.52 mm) que en la periferia (0.65 a 0.75 mm).

La superficie corneal puede ser dividida en cuatro zonas geográficas del ápex al limbo. La zona central o zona óptica (3-4 mm, centrales): cubre la pupila y es responsable de la visión de alta definición. La parte central es casi esférica, su curvatura no varía más de 0.05 mm, (0.25D) y se denomina ápex o vértice corneal. La zona paracentral (7-8 mm): en ella la córnea empieza a aplanarse junto con la zona central, es muy importante para adaptar lentes de contacto. La zona periférica (11 mm): Es la zona de máximo aplanamiento y donde la córnea se hace más esférica. La zona límbica (12 mm): Es como un anillo de 0.5 a 1.00 mm de ancho junto a la esclera¹. La

Ilustración 1 muestra esta parametrización de la córnea desglosada por zonas.

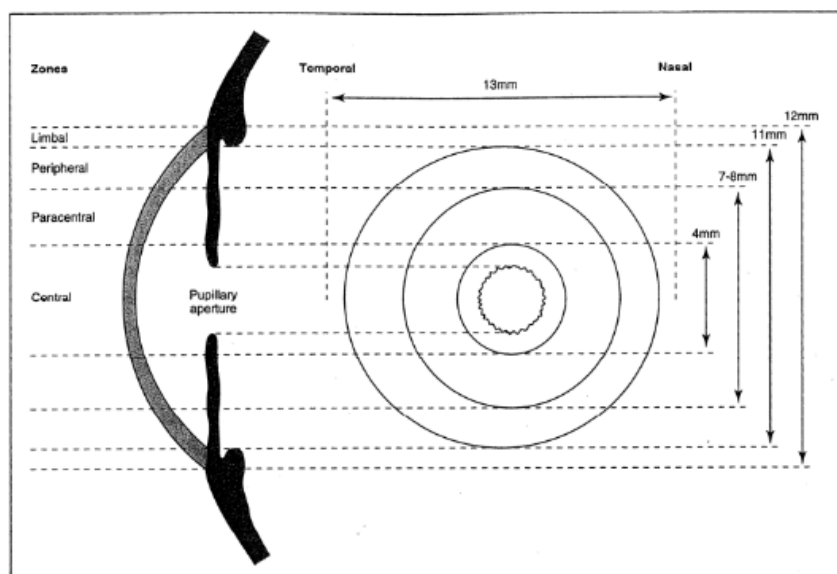


Ilustración 1. Parametrización de la córnea

1.1 Anatomía corneal

Histológicamente, la córnea está formada por cinco capas: epitelio, capa de Bowman, estroma, membrana de Descemet y endotelio. Está cubierta por la película lagrimal por delante (protegiendo la córnea de la deshidratación y ayudando a mantener la superficie corneal regular) y el humor acuoso por detrás.

Película lagrimal: La integridad de la córnea depende de la presencia de una película lagrimal precorneal. Esta capa lubrica y humedece la superficie de la córnea, siendo fundamental para

el bienestar de las células epiteliales y proporcionando una superficie óptica lisa que permita desarrollar una buena agudeza visual.

Tradicionalmente, la película lagrimal era vista como una composición de tres capas diferenciadas: Una capa lipídica más externa, una capa acuosa constituyendo la mayor parte de la película lagrimal y una capa de mucina recubriendo la superficie corneal. Sin embargo, actualmente, los estudios apuntan² que en lugar de ser tres capas distintas, la película lagrimal es en realidad una capa lipídica con fases acuosas que incorporan diferentes concentraciones de lípidos y mucinas. Además, las mucinas en la película lagrimal desempeñan un papel muy activo en el mantenimiento de la estabilidad de la película lagrimal.

Epitelio: Está formado por 5 ó 6 filas de células estratificadas, no queratinizadas. Mide entre 50 y 100 μm , y se renueva cada 7 días. Está formado por tres tipos de células: células basales, columnares, alares poligonales y superficiales planas. Existen uniones estrechas alrededor de todos los bordes laterales de cada célula, que ejercen una función de barrera anatómica al paso de sustancias al espacio intercelular.

Capa de Bowman: Es una zona acelular, de 8 a 10 μm de espesor, situada debajo del epitelio. El margen anterior limita con la membrana basal del epitelio y el borde posterior se mezcla con las fibras de colágeno anteriores del estroma. Está compuesta por fibrillas cortas de colágeno tipo I dispuestas al azar en una matriz amorfa. Estas fibrillas de colágeno tienen un diámetro de aproximadamente dos tercios menor que las del estroma. En las porciones más profundas, estas fibrillas aumentan su diámetro y longitud y se transforman gradualmente en el estroma regular. La capa de Bowman carece de capacidad regeneradora cuando se lesiona, durante la curación de la herida se forma una capa delgada, con una fina estructura idéntica a la de la capa de Bowman; sin embargo, esta capa secundaria no recupera su espesor original.

Estroma: Constituye aproximadamente el 90% del grosor de la córnea. Es un tejido conectivo denso, no tiene vasos sanguíneos ni linfáticos, pero sí nervios. Consta fundamentalmente de fibras de colágeno, células y sustancia fundamental. El 78% es agua. Las láminas discurren paralelas entre sí y a la superficie de la córnea, recorriendo cada una de ellas toda la longitud de la córnea. Esta regularidad de la red fibrilar permite la transparencia corneal.

Membrana de Descemet: Tiene un espesor de aproximadamente 8 a 10 μm . Es una lámina basal gruesa producida por el endotelio. El anillo de Schwalbe es una acumulación de fibras colágenas circulares que marca la terminación de la membrana de Descemet a nivel del ángulo iridocorneal. A diferencia de la capa de Bowman la membrana de Descemet se desprende del estroma con facilidad, regenerándose con rapidez tras la lesión.

Endotelio Posteriormente a la membrana de Descemet se encuentra una única capa de células planas hexagonales. Algunas células endoteliales mueren a lo largo de la vida, dando como resultado una disminución gradual de la población de células endoteliales con la edad. La pérdida celular produce una variación en la forma de las células endoteliales (pleomorfismo), así como un cambio en el tamaño (polimegatismo), cubriendo la zona que ha quedado vacía por las células muertas, dando como resultado un aumento del área celular y una disminución de la densidad celular^{1,3 4}.

En la *Ilustración 2*, correspondiente a una imagen microscópica de la córnea, se puede apreciar la distribución y la morfología de las distintas capas del tejido corneal.

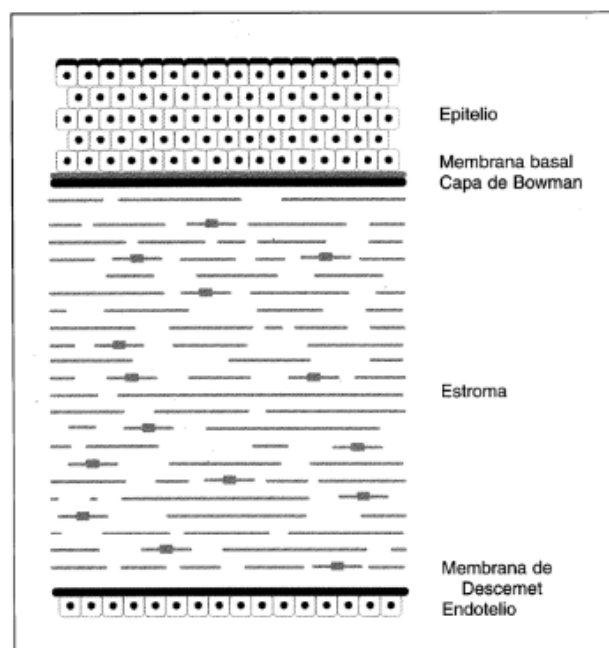


Ilustración 2. Imagen microscópica de la distribución y morfología del tejido corneal

2. QUERATOCONO

Queratocono (del griego κέρατο- "cuerno, córnea" y κώνος "cono") significa "córnea en forma de cono".

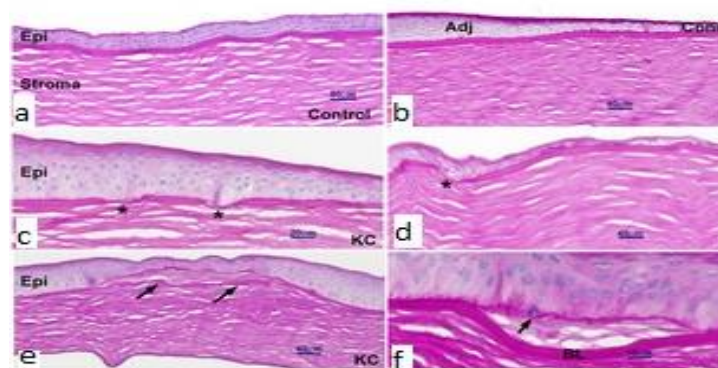
El queratocono es una enfermedad clasificada dentro de las ectasias corneales, suele aparecer en la segunda década de vida estabilizándose en la cuarta y normalmente cursa de forma bilateral. Hasta hace unos años, se clasificaba como una enfermedad no inflamatoria^{5,6}, sin embargo, la evidencia reciente sobre la presencia de mediadores inflamatorios como la citocina y la interleucina 6 (IL-6) en la lágrima de los pacientes con queratocono, podría refutar esta idea. El queratocono se caracteriza por un adelgazamiento progresivo de la córnea, una protrusión anterior en forma cónica típicamente inferior al centro, propiciando un astigmatismo irregular, miopía y otros impedimentos visuales severos. Estudios recientes⁷ indican variaciones tanto centrales como periféricas en las córneas con queratocono y en la forma de la esclera adyacente al limbo respecto a córneas sanas. Los últimos estudios⁸ refieren una prevalencia entre 0.9% y 3.3% en función de la etnia y la zona geográfica, sin distinción entre sexos y con presencia de componente genético. La etiología sigue siendo desconocida a día de hoy, aunque los estudios lo asocian a enfermedades caracterizadas por alteración en el tejido conectivo^{9,10,11}. Se han relacionado factores de riesgo asociados al queratocono como: frotarse los ojos, atopía (reacción de hipersensibilidad) y exposición a la luz ultravioleta, aunque la contribución de estos es todavía desconocida¹². Se trata de la principal causa de trasplante de córnea en personas jóvenes de los países occidentales¹³

Las primeras referencias no aparecen hasta el 1748 por el oftalmólogo alemán Burchard Mauchart que describe un caso de queratocono denominándolo *staphyloma diaphanum* (estafiloma diáfano), aunque no fue hasta 1854 que se distinguió de otras ectasias corneales, cuando el inglés Nottingham menciona casos de "córnea cónica", describiendo características específicas del queratocono.

2.1 Cambios histológicos

El queratocono puede implicar a cada una de las capas de la córnea. La degeneración temprana de las células epiteliales basales puede ir seguida de una alteración de la membrana basal que puede resultar en el crecimiento del epitelio posterior a la capa de Bowman y el colágeno anterior al epitelio, formando interrupciones o rupturas típicas en forma de Z en la capa de Bowman. La cicatrización de la capa de Bowman y el estroma anterior son comunes y se

presentan histopatològicament amb la fragmentació del col·lagen, fibril·lació i activitat fibroblàstica. El estroma presenta fibres de col·lagen de mida normal encara que en petit nombre, el que resulta en el adelgazamiento del estroma. El pleomorfisme de les cèl·lules endotelials i el polimegatisme també poden manifestar-se. Mentre més greu sigui el queratocon i més temps estigui present, major canvi i dany es produeix a la base del con. En la *il·lustració 3* es poden observar exemples de diferents canvis histològics que es poden produir en l'epiteli corneal i l'estroma anterior. La imatge *a* correspon a una còrnea sana, mentre que les restants són cornees amb queratocon. En la imatge *b* es pot observar un adelgazamiento de l'epiteli a la zona del queratocon comparat amb l'epiteli adjacent. En la imatge *c* i *d* les cèl·lules epitelials basals són més grans i es aprecia la irregularitat de la capa de Bowman, amb adelgazamientos i rotures (señalados amb asteriscos *). En alguns queratocons (imatge *e*) es produeix invasió del teixid estromal a la capa de Bowman i l'epiteli (señalado amb fletxes). En la imatge *f* (señalado amb una fletxa) es observa un leucocit a l'epiteli basal, on l'estroma ha invadit.



Il·lustració 3. Canvis histològics produïts en cornees amb queratocon

2.2 Classificació

Existen diverses classificacions del queratocon, cada una d'elles abordant el problema des d'una perspectiva diferent. En general, es poden establir dos formes de classificar el queratocon; segons el seu grau d'evolució i segons la morfologia que presenta en el moment del diagnòstic.

2.2.1 Clasificaciones evolutivas

Clasificación de Buxton (clasificación queratométrica): Establece la gradación del queratocono en función del valor de la lectura queratométrica más curva (K2):

- Leve: K2 menos o igual de 45D
- Moderado: K2 entre 46D y 52D
- Avanzado: K2 entre 53 D y 59D
- Grave K2 igual o mayor de 60D

Clasificación Avitable (clasificación paquimétrica): Define un índice diagnóstico del queratocono basado en la relación entre la paquimetría central y periférica obtenida mediante biomicroscopía ultrasónica

Clasificación de Hom: Basada en la clínica y en el método de corrección óptica necesario para alcanzar la mejor visión:

- Incipiente: Sombras retinoscópicas en tijera, buena visión con gafas, con adelgazamiento corneal incipiente y sin cicatrices.
- Moderado: La visión solo es buena con lentes de contacto rígidas, y el adelgazamiento corneal es más evidente, aunque la transparencia corneal aún se mantiene intacta.
- Severo: El adelgazamiento corneal es importante y aparecen cicatrices corneales que provocan mala visión con cualquier método de corrección.

Clasificación de Amsler-Krumeich: Establece 4 grados de queratocono, combinando valores de refracción, queratometría, paquimetría y hallazgos clínicos:

- Grado I: Abombamiento excéntrico de la córnea, con miopía y/o astigmatismo inducido $< 5D$, y queratometría media central $\leq 48D$.
- Grado II: Miopía y/o astigmatismo inducido entre 5D y 8D, sin cicatrices centrales, con paquimetría en el punto más fino $> 400 \mu m$, y con lectura queratométrica media central $\leq 53D$.

- Grado III: Miopía y/o astigmatismo inducido entre 8D y 10D, sin cicatrices centrales, con paquimetría en el punto más fino entre 300 μm y 400 μm , y con lectura queratométrica media central > 53D.
- Grado IV: Valoración de la refracción imposible o inviable, con cicatrices corneales centrales, paquimetría en el punto más fino entre 200 μm y 300 μm y lectura queratométrica central media > 55D.

Clasificación de Amsler-Krumeich-Alió: Variación de la clasificación de Amsler-Krumeich considerando valores de aberrometría corneal.

Clasificación de Ferrara-Amsler: Variación de la clasificación de Amsler-Krumeich considerando la mejor agudeza visual con corrección en lugar del error refractivo.

Clasificación CLEK: Introduce el índice llamado KSS (*Keratoconus Severity Score*) cuyo valor permite gradar la severidad del queratocono. Este índice toma valores en base a los hallazgos biomicroscópicos, la topografía corneal, el poder corneal promedio (ACP) y el valor cuadrático medio de las aberraciones corneales de alto orden (HORMS) calculadas para una zona de 6 mm de diámetro. Con todo ello se establecen los siguientes 5 grados:

- KSS = 0 (sin afectación): Patrón topográfico axial típico, sin signos biomicroscópicos compatibles con el queratocono, $\text{ACP} \leq 47.75\text{D}$ y $\text{HORMS} \leq 0.65 \mu\text{m}$.
- KSS = 1 (casos atípicos): No aparecen signos biomicroscópicos compatibles con el queratocono con patrón topográfico axial atípico (patrón irregular, pajarita asimétrica, o incremento de la curvatura no mayor de 3.00D con respecto a la ACP), $\text{ACP} \leq 48.00\text{D}$ y $\text{HORMS} \leq 1.00 \mu\text{m}$.
- KSS = 2 (sospecha de queratocono): Sin signos microscópicos compatibles con el queratocono, patrón topográfico axial con un área aislada de incremento de curvatura inferior o central, $\text{ACP} \leq 49.00\text{D}$ y HORMS de alto orden entre 1.00 y 1.50 μm .
- KSS = 3 (leve): Mapa topográfico axial compatible con queratocono, hallazgos biomicroscópicos positivos, pero sin cicatrices corneales, $\text{ACP} \leq 52.00\text{D}$ o el HORMS entre 1.50 y 3.50 μm

- KSS = 4 (moderado): Mapa topográfico axial compatible con queratocono, hallazgos biomicroscópicos positivos, con cicatrices corneales, ACP entre 52.00D y 56.00D y HORMS entre 3.50 μm y 5.75 μm .
- KSS = 5 (avanzado): Mapa topográfico axial compatible con queratocono, hallazgos biomicroscópicos positivos, con cicatrices corneales, ACP > 56.00D y HORMS > 5.75 μm .

Clasificación ABCD: Se ha propuesto un nuevo sistema de clasificación llamado ABCD¹⁴, que aporta datos anatómicos y funcionales que faltan en la clasificación de Amsler-Krumeich. Aporta información sobre las superficies corneales anteriores y posteriores, se centra en el punto más delgado, que es típicamente la región del cono, y añade una medición de la agudeza visual, así como una indicación de la cicatrización corneal.

ABCD Criteria	A	B	C	D	
	ARC (3 mm zone)	PRC (3 mm zone)	Thinnest Pach μm	BDVA	Scarring
STAGE 0	> 7.25 mm (< 46.5 D)	> 5.90 mm (< 57.25 D)	> 490 μm	$\geq 20/20$ (≥ 1.0)	-
STAGE I	> 7.05 mm (< 48.0 D)	> 5.70 mm (< 59.25 D)	> 450 μm	< 20/20 (< 1.0)	-, +, ++
STAGE II	> 6.35 mm (< 53.0 D)	> 5.15 mm (< 65.5 D)	> 400 μm	< 20/40 (< 0.5)	-, +, ++
STAGE III	> 6.15 mm (< 55.0 D)	> 4.95 mm (< 68.5 D)	> 300 μm	< 20/100 (< 0.2)	-, +, ++
STAGE IV	< 6.15 mm (> 55.0 D)	< 4.95 mm (> 68.5 D)	$\leq 300 \mu\text{m}$	< 20/400 (< 0.05)	-, +, ++

Ilustración 4. Clasificación del queratocono ABCD

En esta clasificación (Ilustración 4), se tiene en cuenta el radio de curvatura superior (A), el radio de curvatura posterior (B), la paquimetría corneal en el punto más fino (C), la mejor agudeza visual corregida a distancia (D), y agrega un modificador (-) para ninguna cicatriz, (+) para la cicatrización que no oscurece los detalles del iris y (++) para la cicatrización que oscurece los detalles del iris.

2.2.2 Clasificaciones morfológicas

No es la forma habitual de clasificar el queratono, sin embargo, la aparición de la topografía corneal fomentó el estudio morfológico de cada caso, identificándose patrones característicos y diferentes. Correlaciona morfologías con algunos datos objetivos como la queratometría, asfericidad, asimetría y relación entre ejes.

Clasificación morfológica básica: Se basa en el aspecto morfológico del queratocono cuando valoramos el mapa de curvatura.

- Patrón oval: El cono afecta a uno o a los dos cuadrantes inferiores de la córnea.
- Patrón en globo: El cono afecta prácticamente a toda la córnea.
- Patrón en pezón: El cono afecta a la córnea central, con la córnea circundante normal.
- Patrón astigmático: Imagen en pajarita, pero con asimetría ínfero-superior.

Clasificación topográfica

- Patrón en ojo de buey, córnea central muy curva y con alta asfericidad. En general, son córneas delgadas y con bajo astigmatismo.
- Patrón en pajarita con lóbulos simétricos y no angulados entre sí. Similar al astigmatismo congénito pero con una córnea central muy delgada.
- Patrón en pajarita con lóbulos simétricos y angulados entre sí.
- Patrón en pajarita con lóbulos asimétricos y no angulados entre sí.
- Patrón en pajarita con lóbulos asimétricos y angulados entre sí.
- Patrón mixto, combinación de los anteriores.

En la *ilustración 5* se clasifican distintos tipos de queratocono en función de su morfología básica. A la izquierda, un queratocono con patrón en pezón y, debajo de éste, la topografía corneal mostrando una afectación central mientras que la periferia permanece normal. En el centro de la ilustración aparece un queratocono con patrón oval, en el cual se aprecia afectación en los dos cuadrantes inferiores en el mapa topográfico. A la derecha, un queratocono con patrón en globo, donde el cono afecta prácticamente a la totalidad de la córnea.

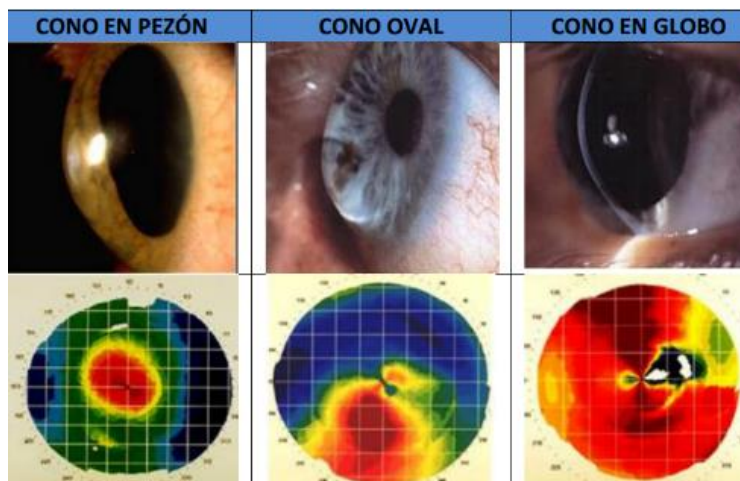


Ilustración 5. Distintas morfologías de queratocono junto con sus mapas topográficos correspondientes

Clasificación de Ferrara

Está orientada hacia la estrategia de tratamiento con segmentos intracorneales. El primer paso para elaborar esta clasificación se basa en seleccionar el denominado meridiano de referencia. Si la agudeza visual con corrección (AVcc) es igual o superior a 0.5 se selecciona el meridiano refractivo; si la AVcc es inferior a 0.5, se selecciona el meridiano del coma o el meridiano topográfico más curvo.

El segundo paso consiste en determinar el tipo de asimetría corneal; para ello, se considera el meridiano de referencia escogido y el mapa de curvatura axial. Así, se debe determinar el área queratométrica más curva que se encuentra a un lado del meridiano de referencia seleccionado. Según esta relación se describen cuatro morfologías:

- Tipo 1: Con el 100% del área de desnivel situado a un lado del meridiano de referencia
- Tipo 2: Con el 80% del área de desnivel situado a un lado del meridiano de referencia
- Tipo 3: Con el 60% del área de desnivel situado a un lado del meridiano de referencia
- Tipo 4: Con el 50% del área de desnivel situado a un lado del meridiano de referencia. El tipo 4 hace referencia a los queratoconos centrales y se divide a su vez en dos subtipos, a y b, en función de la asfericidad y del astigmatismo.

Citaciones de las distintas clasificaciones en la literatura científica

Según las citas de los artículos en la literatura científica (*ver anexo Citaciones de las distintas clasificaciones en la literatura científica*), la clasificación clínica más aceptada a día de hoy es la de Amsler-Krumeich¹⁵ con 211 citas.

2.3 Diagnóstico diferencial

Degeneración marginal pelúcida

Caracterizada por un adelgazamiento corneal bilateral, asimétrica y periférico, adyacente al limbo inferior con una zona característica de 1-2 mm de córnea normal entre la ectasia y el limbo. Muestra un astigmatismo inverso e irregular con una curvatura muy plana en el meridiano vertical y un aumento de elevación por protusión en la parte inferior de la córnea. También es característico un alto poder dióptrico en los meridianos oblicuos inferiores dando un típico patrón en 'alas de mariposa'. Su edad de aparición (20-40 años), sus similitudes histológicas con el queratocono y su parecido topográfico pueden llegar a confundirse con un queratocono. En la degeneración marginal pelúcida, la presencia de aberración de coma como esférica no suelen ser representativas, lo cual no sucede en el queratocono. La localización de la ectasia también ayuda a diferenciar entre ambas patologías, siendo la degeneración marginal pelúcida más periférica.

Queratogloblo

Ectasia bilateral no progresiva caracterizada por un adelgazamiento generalizado más marcado en la periferia que provoca un abombamiento globuloso de la córnea. Hay un aumento de la curvatura corneal con aparición de astigmatismo irregular y alta miopía, otros parámetros de la córnea, sin embargo, permanecen normales. Aunque principalmente se ha considerado un trastorno congénito, se han descrito formas adquiridas^{16,17}. La genética aún no está del todo clara pero podrían existir asociaciones con el queratocono^{18,19}.

Otras situaciones

Existen otras ectasias periféricas como la degeneración marginal de Terrien, la úlcera de Mooren, la degeneración marginal en surco o la queratitis ulcerativa periférica, sin embargo, su diferenciación del queratocono resulta más evidente.

Se pueden encontrar astigmatismos congénitos altos y paquimetría baja, que habitualmente se presentan con astigmatismo directo o a favor de la regla y con un patrón de pajarita central. También se pueden dar alteraciones topográficas, ocasionadas por entidades ajenas, como lentes de contacto, cirugía corneal o traumatismos.

2.4 Signos y síntomas

Los signos y síntomas oculares varían dependiendo del grado del queratocono. Las formas tempranas normalmente pasan desapercibidas a menos que se realice una topografía corneal. La progresión de la enfermedad se manifiesta con una pérdida de agudeza visual que no se puede compensar con gafas. El adelgazamiento corneal frecuentemente precede a la ectasia. En los casos moderados y avanzados, un arco de hemosiderina, conocido como anillo de Fleischer (*Ilustración 6*), se observa frecuentemente alrededor de la base del cono. Las estrías de Vogt (*Ilustración 7*), que son finas líneas verticales producidas por la compresión de la membrana de Descemet, son otro signo característico. Además, la mayoría de los pacientes con el tiempo desarrollan cicatrices corneales.

En etapas avanzadas se puede observar una deformación en forma de V del párpado inferior en posición de infraversión llamada signo de Munson (*Ilustración 8*), así como un reflejo brillante en el área nasal del limbo, conocido como signo de Rizzuti (*Ilustración 9*), cuando la luz incide en el área temporal del limbo. Además, también en etapas avanzadas, se puede observar un edema agudo del estroma conocido como hidrops, producido por roturas en la membrana de Descemet.

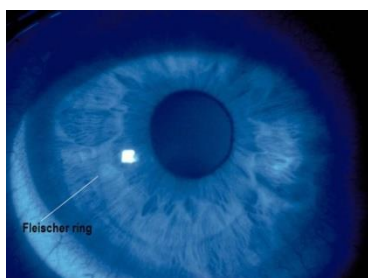


Ilustración 6. Anillo de Fleischer



Ilustración 7. Estrías de Vogt



Ilustración 8. Signo de Munson



Ilustración 9. Signo de Rizzuti

2.5 Diagnóstico clínico

El diagnóstico clínico del queratocono se realiza mediante:

Historia clínica: Paciente joven que consulta por síntomas de disminución de agudeza visual con aumento en el astigmatismo miópico, puede aparecer desde muy temprano y progresa hasta al menos la cuarta o quinta década. Se trata de una enfermedad bilateral aunque frecuentemente asimétrica, presentando el queratocono de un ojo más desarrollado que el otro.

Lámpara de hendidura: Depende de la fase del queratocono, donde puede oscilar desde un aspecto normal hasta una serie de signos clásicos como los descritos en el apartado anterior: estrías de Vogt, anillo de Fleischer, opacidades superficiales o profundas y adelgazamiento estromal. En los queratoconos avanzados es clásico encontrar el signo de Munson, cicatrización e hidrops córnea.

Queratometría y queratoscopio: Si el queratocono está en una fase inicial no se detecta nada porque mide sólo cuatro puntos situados a unos 3 mm en el centro de la córnea, pero puede ser que aparezca distorsión corneal en los anillos y un encurvamiento de la córnea ínfero-temporal, progresando hacia la periferia y los demás cuadrantes.

Paquimetría: Adelgazamiento corneal.

Topografía corneal: La topografía corneal es una de las herramientas más importantes en la detección y el tratamiento del queratocono. Favorece la detección de cambios sutiles de la topografía de la superficie corneal y ofrece un análisis detallado cualitativo y cuantitativo de la forma de la córnea.

2.5.1 Pentacam HR para el diagnóstico clínico

El instrumento Pentacam HR (Oculus, Alemania), utilizado para este estudio, es un sistema no invasivo para medir y caracterizar el segmento anterior del ojo. Posee una cámara rotacional de Scheimpflug (*Ilustración 10*) que proporciona, entre otros parámetros, la topografía corneal anterior, posterior, la paquimetría, la profundidad y el ángulo de la cámara anterior, así como

unos índices que nos estiman el riesgo y, de existir, el grado del queratocono, así como su forma, localización y tamaño del cono.

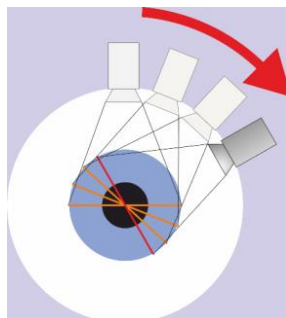


Ilustración 10. Cámara rotacional de Scheimpflug

Mediante la cámara rotacional de Scheimpflug, se capturan 25 imágenes individuales (*Ilustración 11*) de la superficie corneal anterior y posterior sobre una rotación de 180 grados, empleando sólo dos segundos. Los datos de elevación de estas imágenes son combinados para formar una reconstrucción en tres dimensiones de la estructura de la córnea.

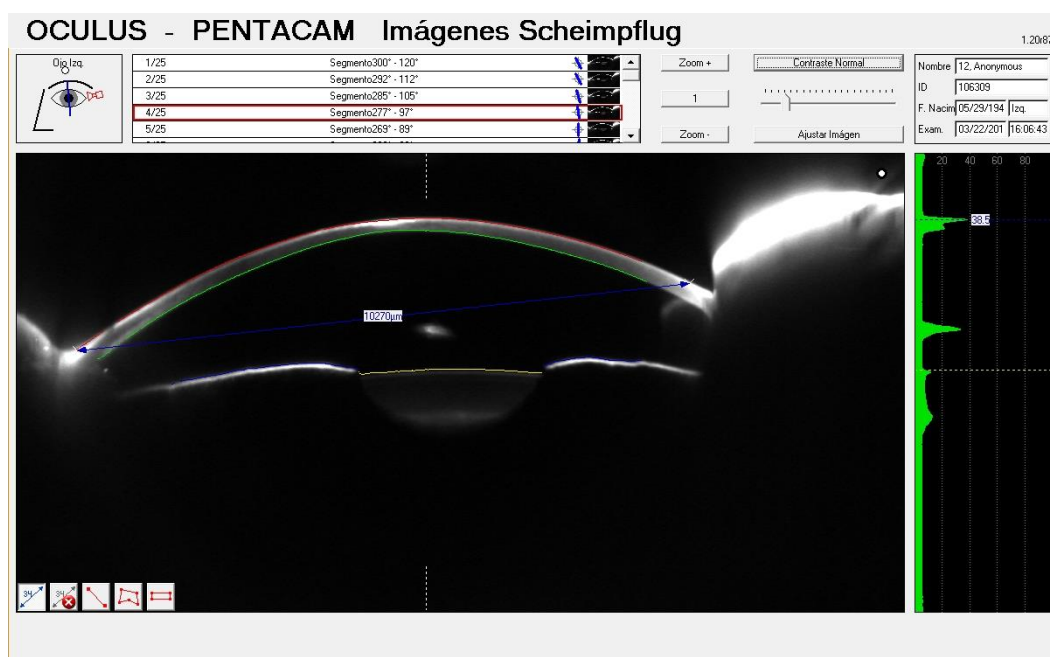


Ilustración 11. Imagen del segmento anterior de un ojo capturada por la cámara rotacional de Scheimpflug

El análisis de la estabilidad de la córnea se basa en los datos del análisis paquimétrico de la córnea en forma de aros concéntricos alrededor de la zona más delgada y analiza el grosor de la córnea y lo compara con los datos de una base de datos normalizada. En la adaptación de lentes de contacto es esencial que se identifique el tipo y el tamaño del cono, de forma que la lente (incluyendo los parámetros de la lente y el diseño) pueda ser adaptada de la manera más eficiente.

Parámetros del segmento anterior utilizados en Pentacam HR para el estudio

Además de la información mencionada en el apartado anterior, para el presente estudio se ha trabajado con una serie de parámetros obtenidos a partir de las imágenes de Scheimpflug. A continuación se describen dichos parámetros:

- Diámetro horizontal de iris visible (DHIV): El diámetro horizontal de iris visible o diámetro corneal es una medida que aporta el propio *software* del Pentacam, sin embargo, únicamente en el meridiano de 180°. Mediante las herramientas que ofrece Pentacam, se ha medido para el estudio el diámetro corneal en el meridiano del ápex del queratocono. Es un parámetro necesario para calcular el diámetro de la lente de contacto que se quiera adaptar así como para determinar la profundidad de la sagita corneal.

- Profundidad de la sagita corneal (SAGT): La profundidad sagital de una curva esférica es la distancia perpendicular desde el vértice de la curva a una línea de intersección de los dos extremos de dicha curva. Dentro del contexto, la profundidad de la sagita corneal corresponde a la distancia que hay desde el punto más elevado del epitelio corneal hasta la intersección de una hipotética línea paralela a esta distancia que uniría el diámetro corneal, tal y como se puede apreciar en la *Ilustración 12*.

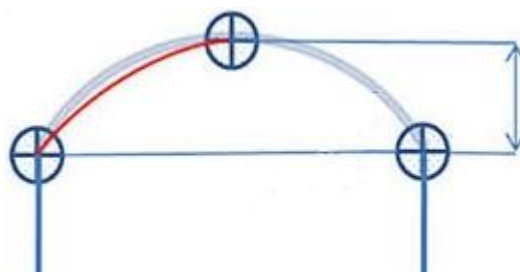


Ilustración 12. Demostración gráfica del cálculo de la profundidad de la sagita corneal

Es un parámetro imprescindible para determinar la sagita que debe presentar una lente de contacto para cubrir la porción necesaria de córnea para una óptima adaptación.

- Profundidad de la cámara anterior (PCA): La profundidad de la cámara anterior es la distancia que hay desde el endotelio corneal hasta la superficie anterior del cristalino. Este parámetro es proporcionado por el Pentacam.

- Distancia DL: Un estudio reciente²⁰ separa la PCA en dos porciones: la distancia entre el endotelio y la línea que describe el diámetro corneal de blanco a blanco en el meridiano de interés y la distancia de esta línea hasta la superficie del cristalino (ver *Ilustración 13*). Esta distancia permite evaluar mejor los cambios que se producen en el queratocono en córnea central o periférica.

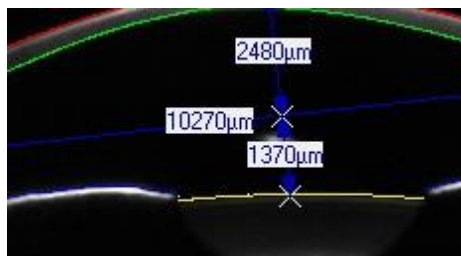


Ilustración 13. Imagen de Scheimpflug con la PCA desglosada en dos distancias

Mapas corneales empleados en Pentacam HR para el estudio

El Pentacam HR representa mapas con código cromático (*Ilustración 13*) los cuales se emplean para el diagnóstico y clasificación del queratocono. A continuación se describen los mapas más destacados incidiendo en su uso en el presente estudio.

- Mapa axial o sagital: El mapa axial mide la curvatura en un cierto punto de la superficie en dirección axial con relación al centro de la córnea. Aporta información de la zona central. Útil en caso de córneas normales, pero inadecuado para valorar córneas ectásicas ya que es un mapa demostrativo y menos exacto que el tangencial.

- Mapa tangencial o meridional: A diferencia del mapa axial, el mapa tangencial mide la curvatura en cierto punto de la superficie en una dirección tangencial con relación a otros puntos del mismo anillo del instrumento. Aporta información de una zona concreta de la córnea, especialmente en la periferia, por lo que es el más adecuado para definir el tipo de queratocono.

- Mapa refractivo: Es un mapa derivado del mapa axial, se obtiene de convertir el radio de curvatura en cada punto en dioptrías, según la regla de Snell y asumiendo que el ojo tiene un índice de refracción de 1.3375. Se ha utilizado en el estudio para determinar la potencia refractiva en el ápex del queratocono.

- Mapa paquimétrico: El espesor corneal es uno de los parámetros que más interesa valorar en el queratocono. Determina el punto de mínimo espesor de la córnea y su localización con respecto al centro pupilar. Es utilizado para el diagnóstico y la clasificación del queratocono.

- Mapa de elevación anterior: Los mapas de elevación son útiles para cuantificar la elevación del queratocono. La elevación anterior viene dada por la altura de un punto de la superficie corneal con respecto a la superficie de una esfera de referencia (BFS: Best Fit Sphere) y que corresponde a la superficie esférica que mejor se adapta a la superficie corneal estudiada. Aparte de ser utilizado para el diagnóstico del queratocono, del mapa de elevación anterior (*Ilustración 14*) se obtiene la asfericidad, importante también a la hora del tratamiento. Este mapa ha sido utilizado para la detección de la localización del queratocono junto con el mapa aberrométrico. Del mapa de elevación anterior también se ha extraído el valor de la BFS aportado por el propio programa.

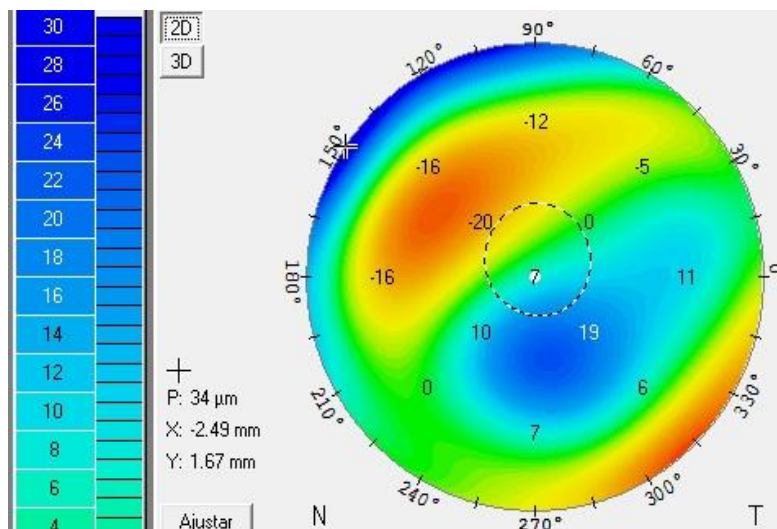


Ilustración 14. Mapa de color de elevación anterior

- Mapa de elevación posterior: Define la cara posterior de la córnea, donde se producen los cambios más precoces en el queratocono.

- Mapa aberrométrico: Este mapa se obtiene a partir de los datos del mapa de elevación. Se tiene en cuenta el coma total (magnitud y eje), la aberración esférica (magnitud) y el trefoil (magnitud y eje). La magnitud del coma nos establece la gravedad de la ectasia y el eje, la dirección de la misma. El mapa aberrométrico se ha utilizado para la detección del ápex del queratocono.

2.6 Pronóstico

El diagnóstico precoz resulta fundamental ya que el pronóstico es mejor cuanto antes se diagnostique la enfermedad. En general, un queratocono diagnosticado en estadios tempranos, tiene buen pronóstico. Cuanto más joven sea el paciente, más posibilidades tiene de que progrese la enfermedad. Cuando es diagnosticado en estadios avanzados, la importancia del tratamiento radica en conservar la córnea lo más funcional posible y alargar al máximo el momento de la queratoplastia.

2.7 Tratamiento

Son varias las opciones de tratamiento disponibles para el queratocono, la mejor opción de tratamiento posible para cada paciente irá en función de la severidad de la enfermedad.

Una reducción de la agudeza visual provocada al queratocono se corrige inicialmente con gafas. Cuando las gafas no logran corregir adecuadamente la agudeza visual, las lentes de contacto son la siguiente opción. Las lentes de contacto a menudo proporcionan una mejor visión que las gafas ocultando el astigmatismo irregular. Para irregularidades leves o moderadas, se pueden utilizar lentes de contacto tóricas blandas, sin embargo, en irregularidades elevadas es necesaria la adaptación de lentes rígidas permeables al gas (RPG) para enmascarar el astigmatismo irregular. Existen distintas lentes RPG para usar con queratocono, poseen una curva posterior central curvada para el cono y curvas periféricas más planas para aproximar la curvatura periférica a la normalidad con una alta permeabilidad al oxígeno y un cómodo ajuste. Las lentes de contacto híbridas son una alternativa a las lentes RPG, el centro de la lente está fabricado con un material rígido y la periferia de material blando, de esta manera se obtiene mayor estabilidad y comodidad. Otra alternativa es la técnica piggy-back, donde una lente blanda se adapta a la córnea y otra lente RPG es adaptada encima de ésta. Para las córneas altamente irregulares, las lentes de contacto esclerales permeables al gas también son una opción de tratamiento.

En queratoconos que todavía permiten una buena agudeza visual y que se observa, en exámenes sucesivos, que está progresando, se puede someter a la córnea a un tratamiento de crosslinking (*Ilustración 15*), tratamiento que frena la progresión de dicho queratocono. El cross-linking corneal consiste en estimular la creación de nuevos enlaces entre las fibras de colágeno del estroma mediante la aplicación de un fotosensibilizador (riboflavina) y la utilización de la radiación ultravioleta A, aumentando así la rigidez de la córnea.

También existe un tratamiento para mejorar la visión mediante la implantación de anillos semicirculares (*Ilustración 16*) en la periferia del estroma corneal con el fin de corregir la deformación producida por el queratocono, aunque no consiguen detener la progresión. Se aplica en casos de queratoconos que ya no pueden ser compensados con lentes de contacto y cuyo grosor corneal permite su colocación.

Cuando no es posible obtener una buena visión mediante los tratamientos anteriormente mencionados, se realiza una queratoplastia, donde la córnea enferma es reemplazada por una córnea sana de un donante.

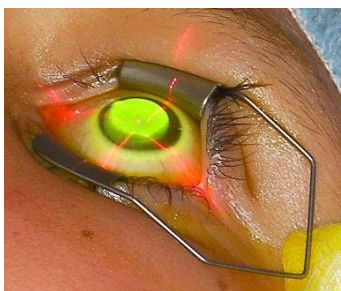


Ilustración 15. Tratamiento Crosslinking

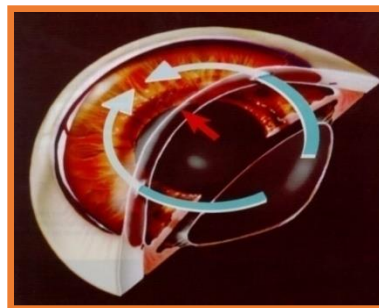


Ilustración 16. Anillos semicirculares intraestromales

2.7.1 Tratamiento mediante lentes de contacto

Las lentes de contacto juegan un papel muy importante en el tratamiento del queratocono. La línea de tratamiento consiste en corregir la irregularidad corneal, y aunque su adaptación no detiene la progresión del queratocono, éstas ofrecen una buena visión al paciente.

2.7.1.1 Tipo de lentes de contacto para queratocono

Lentes de contacto de hidrogel

La función de las lentes blandas en la corrección de una córnea irregular con astigmatismo irregular es limitada. Se consideran cuando no es posible realizar otro tratamiento y el paciente no tolera el uso de lentes RPG. Son lentes con espesores centrales elevados (0.3 a 0.5 mm) compensando cierto grado de irregularidad, pero reduciendo la permeabilidad al oxígeno en gran medida. Se puede considerar también el uso lentes tóricas posteriores (también con espesores altos en el centro debido a la estabilización del prisma) para tratar de compensar la irregularidad. Pese a la adaptación de estas lentes, en general, se necesita una sobrecorrección astigmática en gafas para equilibrar los defectos ópticos residuales.

Lentes híbridas

Las lentes híbridas tienen el centro de material RPG y éste está rodeado por un faldón de material blando en la periférica. Este tipo de lentes proporcionan la calidad de visión de una lente RPG y la comodidad de las lentes de contacto blandas. Son adaptadas en casos que no es posible adaptar una lente RPG, ya sea porque el paciente no la tolera o porque la lente no se centra correctamente en el ojo o no llega a cubrir las alteraciones situadas en la periferia de la córnea.

Piggy-back

El sistema Piggy-back consiste en adaptar una lente RPG sobre una lente blanda (*ilustración 17*). La lente RPG proporciona una óptima calidad de visión mientras que la lente blanda ofrece una mayor comodidad. El centrado se lleva a cabo gracias al poder dióptrico positivo de la lente de contacto blanda, el cual ayuda al centrado de la lente RPG llevando la lente al centro de la lente blanda.

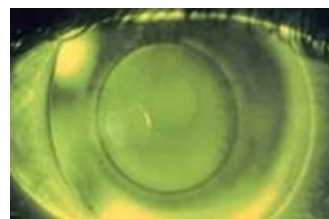


Ilustración 17. Sistema Piggy-Back

Lentes de Contacto RPG

Las lentes de contacto rígidas permeables al gas son la opción principal para corregir la visión del queratocono. Estas lentes enmascaran la córnea irregular y ejerce de nueva superficie refractiva del ojo gracias a la película lagrimal que llena el espacio entre la superficie posterior de la lente de contacto y la superficie anterior corneal.

Existen distintos diseños de lente de RGP que se van a ser detallados a continuación:

- Lentes de contacto RPG corneales

Las lentes de contacto corneales tienen diámetros entre 8.0 mm y 12.8 mm. A medida que el diámetro del cono aumenta, también hay que aumentar el diámetro de zona óptica posterior (BOZD) de la lente, el radio de curvatura base y el diámetro, lo que lleva a una mejor coincidencia entre la sagita del cono y la sagita de la zona óptica posterior (ver *ilustración 18*).

Si la zona óptica es demasiado grande comparada con el diámetro del cono, la sagita de la lente de contacto es mayor que el cono y el espacio libre alrededor del cono, llevará a la formación de burbujas en la película lagrimal anterior a la lente afectando a la visión. Si la zona óptica de la lente es demasiado pequeña, la caída de la lente de contacto será más pequeña que la sagita

del cono, siendo un obstáculo para la lente que se apoya en el cono y resultando en una lente inestable y descentrada sobre la córnea.

La zona periférica de la lente necesita aplanarse más que la córnea periférica y, al hacerlo, tendrá que tener un levantamiento axial del borde que es mucho más alto que el de una lente diseñada para el ojo promedio con un valor de excentricidad promedio (0.5 a 0.6). Los valores de excentricidad para los ojos con queratocono abarcan desde 0.65 a más de 1.0 en casos avanzados.

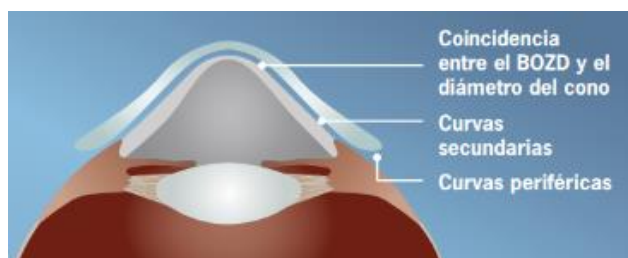


Ilustración 18. Esquema de una adaptación de una lente de contacto RPG corneal en un queratocono

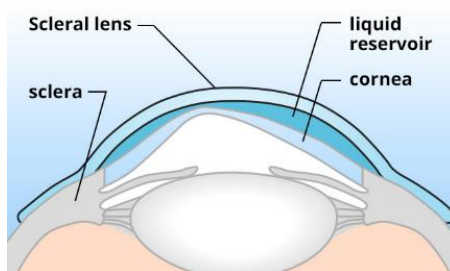
- Lentes de contacto RPG esclerocorneales y semiesclerales

Este tipo de lentes poseen 3 parámetros que deben tomarse en consideración en la adaptación y los cuales pueden ser ajustados de manera independiente: la zona corneal, la zona de la periferia media y la zona escleroconjuntival.

Las lentes esclerocorneales se adaptan con un leve levantamiento apical, levantamiento sobre la conjunción córneoescleral y alineación en la zona esclerocorneal. Las lentes semiesclerales se adaptan de forma similar, pero se necesita un mayor levantamiento apical para inducir un bombeo de lágrimas bajo la lente. Este tipo de diseños son beneficiosos en casos de grandes irregularidades gracias al diámetro de gran tamaño de la zona óptica que proporcionan estas lentes. Las lentes esclerocorneales poseen diámetros entre 12.9 mm y 13.5 mm pueden, y las semiesclerales entre 13.6 mm a 14.9 mm.

- Lentes de contacto RPG miniesclerales y esclerales

Este tipo de lentes están diseñadas para alinearse y apoyarse en la conjuntiva escleral ofreciendo una gran comodidad, además, 'envuelven' la córnea en una especie de bóveda o cúpula, sin tocar el cono (ver *ilustración 19*).



Il·lustració 19. Esquema de una adaptació de una lentilla RPG escleral en un ull amb queratocono

La sagita de la lentilla ha de ser major que la pendent corneal a fi de lograr este tip de relació de adaptació. Al atrapar la làgrima por debajo de la lentilla, estas lentes esclerales pueden tener una ventaja terapéutica para el ojo seco además de enmascarar grandes áreas de irregularidad corneal. Es un diseño similar a los semiesclerales, donde cada una de las tres zonas de la lentilla (zona corneal, zona de periferia media y zona escleroconjuntival) debe considerarse individualmente para lograr una adaptación satisfactoria, igual que en las semiesclerales (*il·lustració 20*). El intercambio lagrimal se logra a través de una acción de bombeo del párpado superior sobre la superficie de la lentilla de contacto, induciendo flexión (presión positiva) del centro de las lentes y presión negativa a medida que la periferia de la lentilla envía lágrimas por debajo del mismo.

Los diámetros de las lentes entre 15.0 mm y 18.0 mm son considerados miniesclerales, mientras que de 18.1 mm a más de 24 mm se consideran lentes esclerales.



Il·lustració 20. Características de una correcta adaptación de una lentilla de contacto escleral en un queratocono

2.7.1.2 Diseño de las lentes

Actualmente, las lentes corneales con curvas esféricas pueden diseñarse usando un *software* para lentes de contacto, con cualquier diámetro, diámetro de la zona óptica posterior y levantamiento axial del borde formado por múltiples curvas periféricas. Hay que tener en cuenta que el levantamiento axial del borde de la lentilla sea suficientemente elevado para proporcionar

un levantamiento adecuado para córneas con valores de excentricidad elevados. Asimismo, también es posible obtener periferias multicurvas más cerradas o más planas según las necesidades.

También es posible la fabricación de diseños con periferia asférica. Estos diseños ofrecen la ventaja de la óptica central esférica y una alineación mejorada en la periferia de la córnea. Proporcionan un mayor levantamiento axial del borde, necesario en el caso del queratocono avanzado. El centro de la lente y la periferia pueden modificarse de manera independiente.

Existen diseños completamente esféricos, en los cuales la lente se aplana progresivamente desde el centro hacia la periferia, además, de algunos diseños que ofrecen control de aberración, en el cual se diseña una superficie asférica en la superficie anterior de la lente para ayudar a tratar la aberración esférica.

Las lentes de contacto semiesclerales y miniesclerales utilizan una zona óptica esférica en la superficie posterior en varias zonas, y algunas con óptica asférica en la superficie anterior para reducir la aberración esférica. Pueden tener un diseño de cinco curvas, en el que la curvatura base y la primera curva periférica se apoyan en la zona corneal, la siguiente curva periférica se levanta sobre el área del limbo y las dos curvas periféricas finales son tangentes a la esclera.

2.7.1.3 Elección del diseño correcto de lente

Las opciones de lentes de contacto incluyen (en orden de aumento de la gravedad de la enfermedad):

- Lentes permeables al gas esféricos (bicurva o tricurva) y asféricas
- Lentes RPG multicurvas esféricas con periferias asféricas o esféricas
- Lentes RPG semiesclerales

Los casos graves de queratoglobos, degeneración pelúcida y procedimientos postquirúrgicos pueden beneficiarse de las mini o totalmente esclerales. En general, los pacientes se consideran apropiados para el uso de lentes de contacto cuando la visión ya no puede corregirse adecuadamente con gafas. La necesidad de una visión funcional por parte del paciente es el determinante principal.

El procedimiento de adaptación debe incluir los siguientes aspectos:

- Historia clínica
- Evaluación de la lágrima
- Evaluación de los párpados
- Queratometría
- Topografía
- Refracción
- Adaptación de lentes de prueba
- Sobrerefracción
- Análisis de fluorograma

La evaluación previa a la adaptación debe establecer dos parámetros corneales importantes:

- La etapa de la enfermedad
- El tamaño y ubicación del cono (a fin de seleccionar el BOZD y el diámetro)

2.8 Complicaciones

Teñidos

Es posible identificar muchas formas de teñido corneal con el uso de las lentes RPG para queratocono como, por ejemplo:

- Teñido por toxicidad de la solución (*Ilustración 21*).

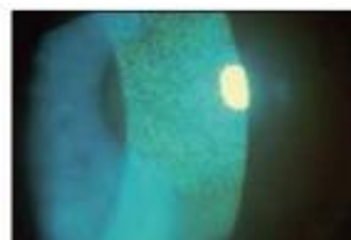


Ilustración 21. Teñido por toxicidad

- Teñido en tres y nueve (*Ilustración 22*): Si la lente tiene un perfil de borde grueso o un levantamiento axial alto de borde, el área adyacente a la periferia de la lente se secará y causará teñido. Si la lente es demasiado pequeña, la córnea expuesta se deshidratará y presentará un teñido.

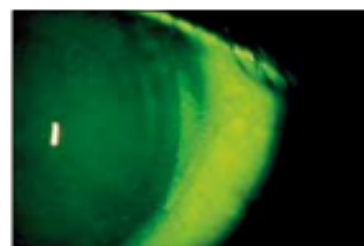


Ilustración 22. Teñido en tres.

- Teñido lineal o en áreas debido a una abrasión o a un cuerpo extraño (*Ilustración 23*): Es posible observar teñido si la superficie posterior de la lente irrita la superficie de la córnea como resultado de un contacto excesivo. En combinación con la inserción de objetos extraños, estos trastornos pueden afectar el epitelio.

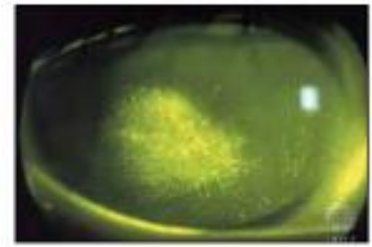


Ilustración 23. Teñido lineal

- Teñido apical (*Ilustración 24*): Surge cuando la lente de contacto es demasiado plana con toque apical y tiene un movimiento excesivo.

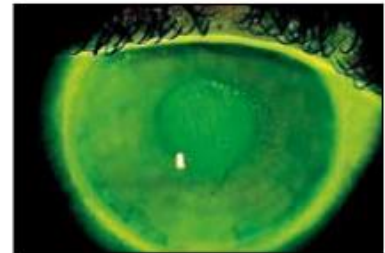


Ilustración 24. Teñido apical

- Velo de burbujas (*Ilustración 25*): Aparición de burbujas de aire en la superficie corneal. Pueden producir incomodidad e interferir con la visión. Para resolverlo hay que disminuir la cantidad de espacio apical (si las burbujas están ubicadas sobre el cono), o bien reducir el BOZD (si las burbujas están ubicadas alrededor del cono), o reducir el levantamiento axial de borde (si están ubicadas en la periferia de la lente)

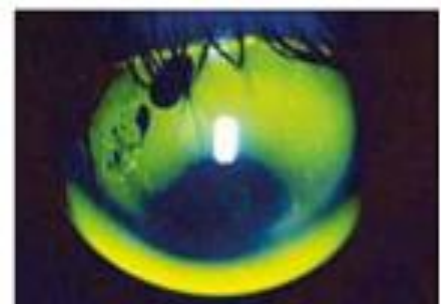


Ilustración 25. Velo de burbujas

Visión

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, las lentes con BOZD excesivamente grandes comparadas con el tamaño del cono tendrán un espacio apical excesivo y pueden permitir la entrada de burbujas de aire por encima y alrededor del cono, interfiriendo en la visión. Las lentes en los que el BOZD es demasiado pequeño pueden descentrarse, además de presentar destellos y una disminución de la visión.

Con un espacio apical excesivo, la lente se flexionará sobre la córnea y causará una visión borrosa fluctuante con el parpadeo, la lente debe estar alineado con el ápex y si aún hay flexión después de ajustar el BOZR, se deberá modificar el espesor del centro de la lente.

Lente descentrada

Cuando una lente con un BOZD pequeño se une con un cono grande, su sagita reducida hará que la lente se descentre con más facilidad. De forma similar, las lentes con periferias planas (levantamiento alto de borde) algunas veces se descentrarán. Las lentes con levantamientos axiales bajos de borde y con levantamiento apical excesivo habitualmente se descentran hacia abajo (*Ilustración 26*), hacia la ubicación del ápex del cono, conduciendo a un parpadeo incompleto y sequedad.



Ilustración 26. Lente descentrada hacia abajo

Identación corneal

Una periferia ajustada de la lente evita su movimiento y en ocasiones provoca que se adhiera a la córnea. La parte acuosa de la capa lagrimal se adelgaza y la capa de mucínica actúa como adhesivo entre la lente y la córnea (*Ilustración 27*).

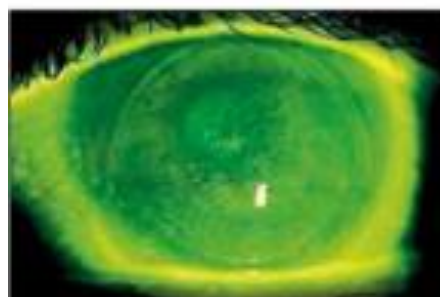


Ilustración 27. Tinción por identación corneal

3. ESTUDIO

3.1 Objetivo general

- Obtener la profundidad sagital en el meridiano del queratocono, la cual se tendrá en cuenta en el diseño y/o adaptación de lentes de contacto a usuarios con esta afectación.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar la posición, el meridiano del ápex del queratocono y su potencia refractiva a partir de los mapas corneales proporcionados por el instrumento Pentacam.
- Obtener las medidas del diámetro corneal, la profundidad de la sagita corneal y la profundidad de la cámara anterior en el meridiano del ápex del queratocono, en las imágenes de Scheimpflug mediante las herramientas proporcionadas por el software del Pentacam
- Obtener el radio de curvatura corneal máximo y mínimo del ojo con queratocono y el Best Fit Sphere (BFS), ambos parámetros proporcionados automáticamente por el *software* del instrumento Pentacam.

3.3 Participantes

La muestra del estudio consta de 52 ojos de 52 pacientes con queratocono (edad 34.74 ± 10.04 años, sin distinción entre sexos) incluidos en el estudio: 27 ojos con queratocono de grado I en la clasificación de Amsler-Krumeich, 14 de grado II, 5 de grado III y 6 de grado IV. Se disponía de una muestra inicial de 85 ojos de 85 pacientes, sin embargo, algunas de las imágenes capturadas de algunos pacientes no se les pudo extraer toda información necesaria para realizar el estudio debido a la presencia del párpado en dichas imágenes. Fueron excluidos del estudio los ojos con historial de cirugía ocular o refractiva, usuarios de lentes de contacto y patologías corneales distintas al queratocono.

3.4 Material

Para el estudio, se utilizaron las bases de datos de pacientes del Pentacam HR ubicados en el Centro Universitario de la Visión (Terrassa) y en dos clínicas oftalmológicas, una en Barcelona y otra en Madrid. En los tres centros un optometrista experimentado, llevó a cabo todas las medidas capturadas con el instrumento, éste se calibraba periódicamente y solo se

consideraban mediciones que el instrumento evaluaba como fiables. Se utilizó el Pentacam HR para analizar los parámetros de la córnea anterior y posterior, así como del segmento anterior. Algunos de los parámetros evaluados fueron recogidos por el propio *software* del instrumento, mientras que otros han requerido cálculos adicionales, basados en mediciones manuales con las herramientas del propio instrumento realizadas en las imágenes de Scheimpflug. La fiabilidad de los parámetros obtenidos está constatada por varios estudios relacionados con la caracterización de los parámetros corneales y la evaluación de las imágenes de Scheimpflug en queratoconos^{21,22}.

Toda la información fue almacenada en un documento de *Microsoft Excel* y posteriormente analizada estadísticamente mediante *Stata: Data Analysis and Statistical Software*.

3.5 Método

3.5.1 Procedimiento de obtención de la información con Pentacam HR

Para identificar la posición exacta del queratocono mediante el *software* del Pentacam HR, en primer lugar, fue utilizada la opción de 'Análisis de Zernike'. En este análisis, se eliminaron las aberraciones de bajo orden (0, 1, 2) prevaleciendo únicamente las de alto orden (3, 4, 5, 6, 7, 8), se impuso un diámetro máximo de cálculo de 6.00 mm y un cuerpo de elevación de referencia de una elipse con excentricidad 0.751, mostrando en el mapa topográfico, la elevación de la superficie anterior corneal en función de esta elipse.

En la *ilustración 28* se observa la configuración del programa con los parámetros descritos. En el extremo superior izquierdo se observa el mapa de elevación corneal anterior en el cual identificaremos la posición del queratocono mediante el código de color.

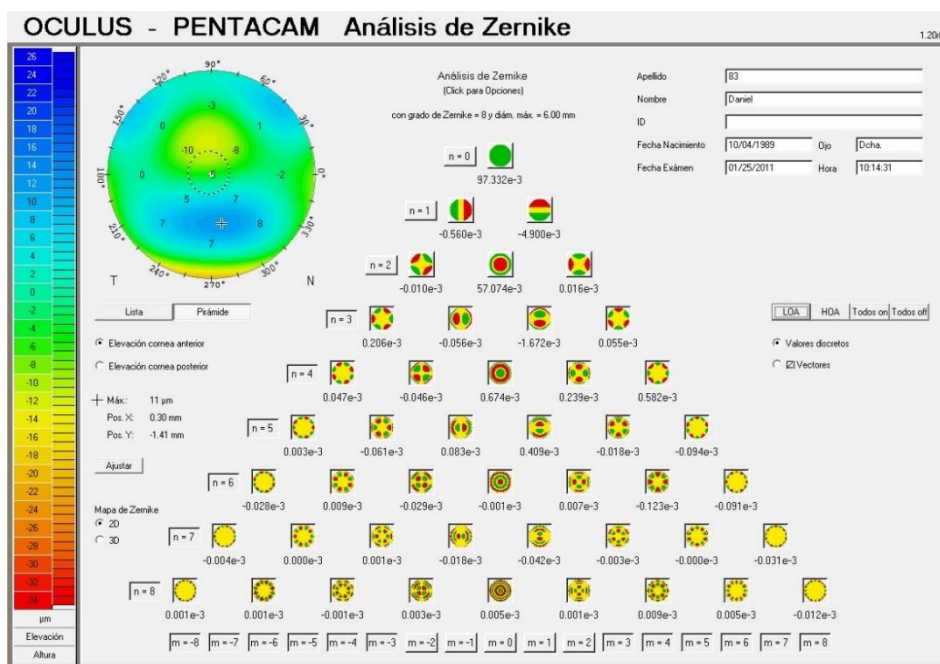


Ilustración 28. Información aportada por el software del Pentacam sobre el Análisis de Zernike de un ojo con queratocono

En la Ilustración 29 el propio programa ha detectado el queratocono marcándolo con una cruz^A y anotando la localización mediante coordenadas cartesianas^B.

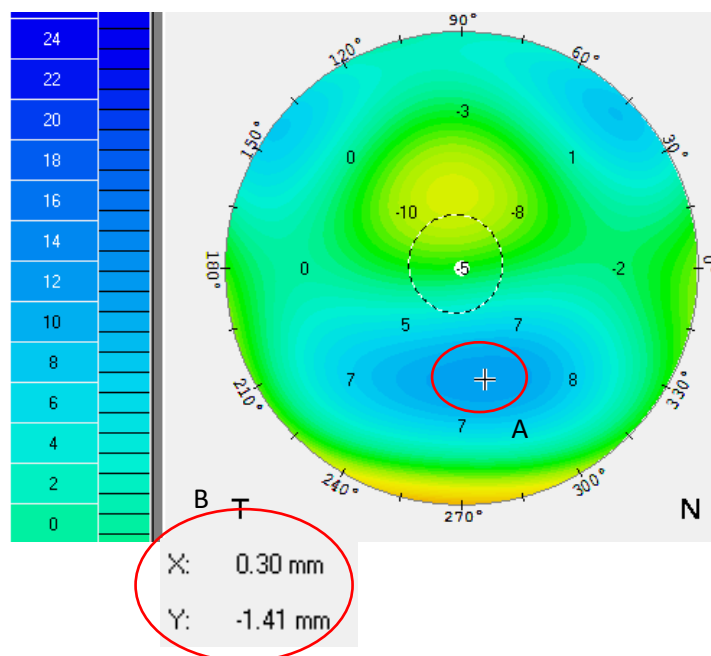


Ilustración 29. Mapa topográfico de la elevación corneal anterior de un ojo junto con las coordenadas cartesianas en las que se encuentra el queratocono

El *software* no siempre identifica correctamente el queratocono, en la *Ilustración 29* se puede apreciar como el punto de máxima elevación está marcado en un extremo^A, donde claramente se observa que la elevación máxima detectada se debe a la interacción del párpado en la captura de la topografía.

En la *Ilustración 30* las coordenadas aportadas^B por el programa no nos resultan útiles, por lo tanto, hay que realizar la identificación de coordenadas cartesianas de forma manual mediante el cursor del ratón del ordenador y guiándonos por el código de colores del mapa topográfico^C.

Una vez dispongamos de las coordenadas cartesianas correspondientes al cateto horizontal y vertical, realizaremos la tangente de estos valores para obtener el meridiano en el que se encuentra el queratocono.

Conociendo el meridiano del queratocono, nos dirigiremos a la opción de 'imágenes de Scheimpflug' del *software* y seleccionaremos el segmento de imagen más cercano al meridiano que hayamos obtenido a partir de las coordenadas cartesianas.

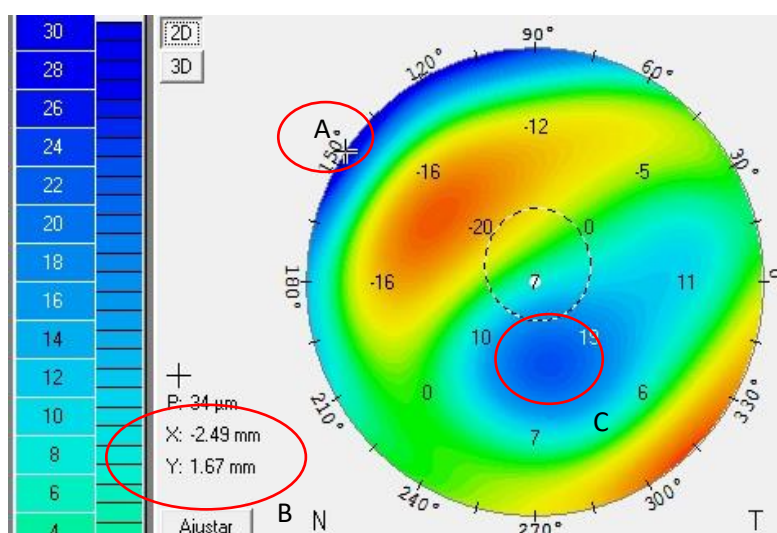


Ilustración 30. Mapa topográfico de la elevación corneal anterior de un ojo junto con las coordenadas cartesianas en las que se encuentra la posición más elevada del mapa

Una vez en la sección de imagen de Scheimpflug (ver *Ilustración 31*), tomaremos las medidas pertinentes para extraer la información que nos interesa. Primeramente empezaremos con el diámetro corneal o diámetro de iris visible o White to White (wtw). Para ello trazaremos una línea horizontal desde el reflejo (correspondiente a la esclera) de un extremo^A del ojo en la zona más anterior del ojo hasta el otro extremo^B. La porción corneal anterior (epitelio corneal) suele ser detectada por el propio programa mediante una línea roja, aunque la detección de ésta no

siempre es completamente fiable, por lo tanto, es importante que sea verificada en cada ocasión.

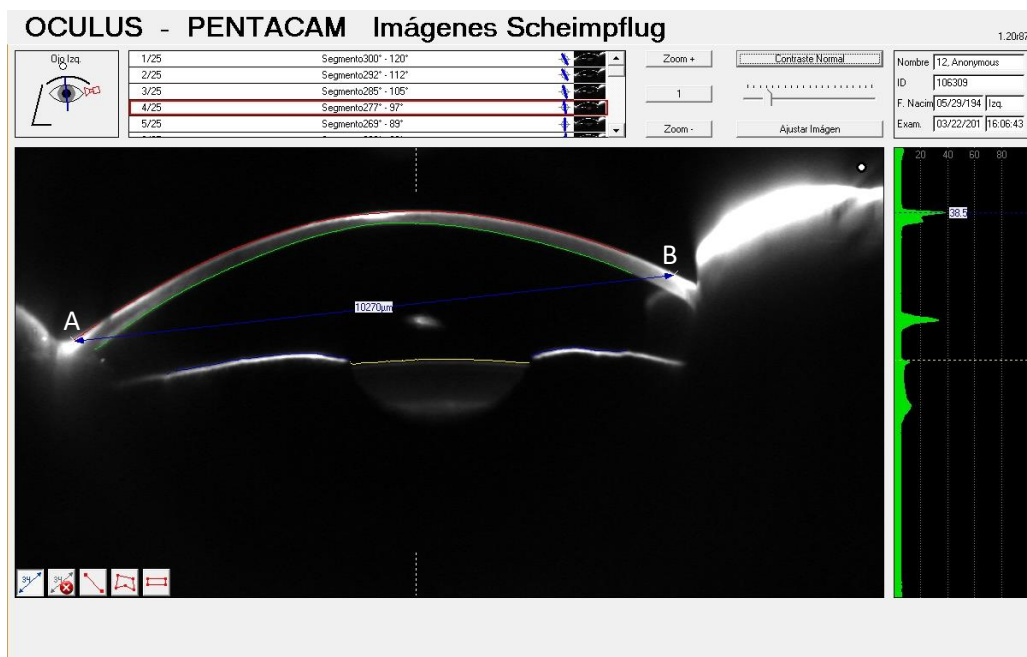


Ilustración 31. Imagen de Scheimpflug correspondiente al meridiano del queratocono. La línea horizontal azul corresponde al diámetro corneal.

Con el diámetro corneal adquirido, proseguiremos con la medida de la profundidad de la sagita corneal (SAGT). Tomando de referencia la línea discontinua superior aportada por el *software* correspondiente al centro de la imagen y por lo tanto en el meridiano del queratocono^A, trazaremos una línea desde el epitelio corneal hasta la intersección con la línea trazada anteriormente para el diámetro corneal^B (ver Ilustración 32).

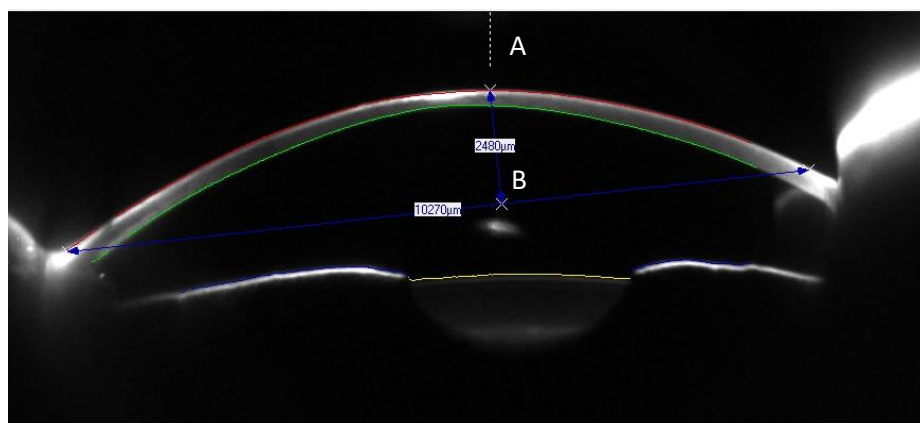


Ilustración 32. Imagen de Scheimpflug. Perpendicular a la línea que mide el diámetro corneal se observa otra línea azul correspondiente a la sagita corneal

Con los valores de los parámetros de las imágenes de Scheimpflug en nuestro haber, nos dirigiremos al apartado de medidas topométricas del *software*. En esta sección anotaremos el valor de la PCA y los radios de curvatura (K) máximo y mínimo de la superficie corneal anterior (*Ilustración 33*). Es importante tener en cuenta que estos parámetros aportados por el topógrafo son simulaciones queratométricas (SimK) realizadas por el propio programa, no es una media calculada a partir de todos los radios de curvatura corneales, sino que viene definida por la forma de la córnea únicamente en unos 15 grados centrales.

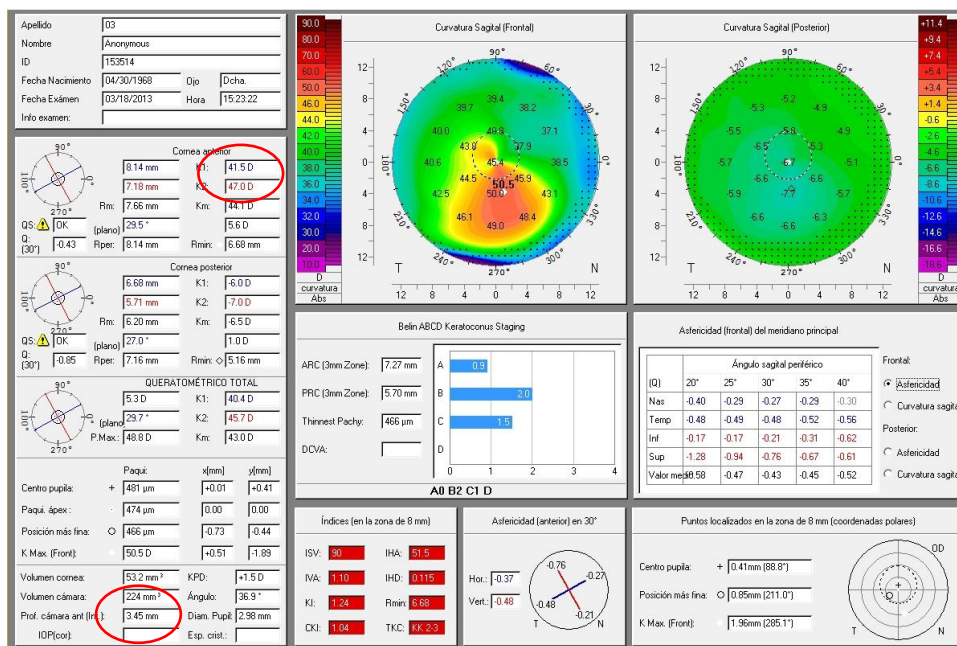
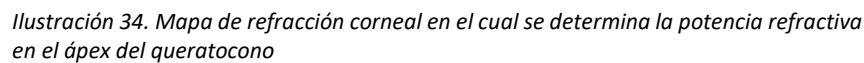


Ilustración 33. Información aportada por el software del topógrafo Pentacam sobre la topografía, la PCA y la queratometría de un ojo con queratocono

Cabe destacar que el radio más curvado o de mayor potencia no siempre corresponde al ápex del queratocono, el queratocono se determina por la elevación, no por la curvatura, ya que la morfología del queratocono puede inducir en el error de lectura del instrumento.

Para obtener la potencia en el ápex con la mayor fiabilidad posible, se partió de las coordenadas cartesianas obtenidas en la topografía de la superficie corneal anterior únicamente con las aberraciones de alto orden. Con esta información y a partir del mapa topográfico correspondiente a la potencia de refracción frontal (*Ilustración 34*), se obtiene el poder dióptrico en el ápex del queratocono.



41

3.5.2 Otras medidas y cálculos efectuados

Análisis de la Profundidad Sagital Corneal (SAGT)

Para el análisis de la profundidad de la sagita corneal (SAGT) en el meridiano del ápex del queratocono, se ha diferenciado la muestra de 85 ojos con queratocono en 2 grupos: los queratoconos incipientes (correspondientes a los queratoconos clasificados de Grado I en la escala de Amsler-Krumeich) y los queratoconos avanzados (Grado II, Grado III, Grado IV en la escala de Amsler-Krumeich). Debido a la presencia del párpado superior en algunas capturas del segmento anterior, ha imposibilitado la realización de las medidas en algunos ojos mediante el procedimiento anteriormente mencionado, por este motivo, para el análisis estadístico han sido utilizados un total de 52 ojos: 27 ojos con queratocono incipiente y 25 con queratocono avanzado.

Se ha realizado la correlación de la SAGT en el meridiano del ápex del queratocono con los siguientes parámetros corneales: wtw a 180°, wtw en el meridiano del ápex del queratocono, PCA, BFS, radio corneal máximo (rmax), radio corneal mínimo (rmin) y potencia del ápex corneal. Para el estudio estadístico se ha considerado un valor de $p\text{-value} \leq 0.05$ como el punto de corte para una significación estadística y un coeficiente de determinación $R^2 \geq 0.85$ se ha considerado como una correlación alta.

Análisis de los parámetros estudiados para la estimación de una lente de contacto de prueba

Mediante el análisis y los valores obtenidos en el estudio del diámetro corneal y la profundidad de la sagita corneal en el meridiano del queratocono, se ha propuesto una hipotética caja de lentes de contacto de prueba con el fin de cubrir la adaptación a la mayor parte posible de pacientes con esta afectación.

Evaluación del diámetro medio de las córneas con queratocono

Para la estimación del diámetro de la lente de contacto de prueba, en primer lugar es necesario determinar el diámetro medio de las córneas con queratocono. Como ya hemos visto, la córnea no es una estructura esférica, sino que presenta una forma elíptica en su proyección frontal, con el eje mayor en la dirección horizontal y el menor en la vertical. Generalmente, el párpado superior cubre el eje vertical dificultando la toma de medidas en dicho eje. Es por ese motivo que para determinar el diámetro vertical ha sido necesario hacer una estimación de éste.

Para la estimación del diámetro vertical se ha considerado un sistema de coordenadas XY , suponiendo que los diámetros medidos se encuentran centrados respecto al punto $(0,0)$. Para cada ojo, se ha estudiado y se ha ajustado mediante el método de mínimos cuadrados una elipse de 6 puntos que corresponden a los diámetros corneales sobre el meridiano horizontal ($0-180^\circ$) y sobre los dos meridianos oblicuos ($45-225^\circ$) y ($135-315^\circ$) (ver *ilustración 36*). Estos diámetros corneales han sido obtenidos en un estudio paralelo dentro del mismo proyecto de investigación, utilizando la misma instrumentación y procedimiento que el presente.

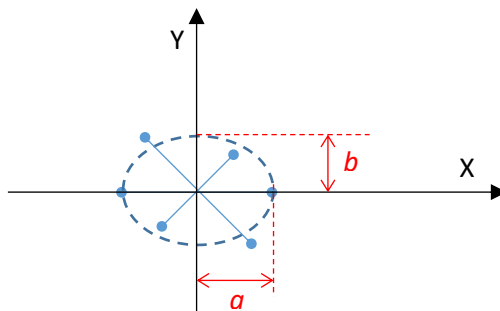


Ilustración 36. Representación gráfica del ajuste de una elipse

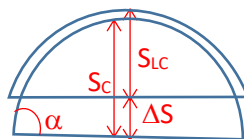
A partir de la ecuación de una elipse centrada en el punto $(0,0)$ $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ se ha considerado el valor a como un valor conocido correspondiente a la mitad del diámetro horizontal medido y se ha determinado el valor b , correspondiente a la mitad del diámetro vertical que se deseaba estimar, obteniendo que el diámetro vertical representa un $90,96\% \approx 91\%$ de media respecto al horizontal. De la misma forma que los diámetros corneales en los puntos de la elipse, dicho porcentaje ha sido calculado en un estudio paralelo.

Para la determinación del diámetro de una hipotética lente de contacto de prueba, éste tendría que ser inferior al diámetro vertical de la córnea para evitar cualquier contacto con el limbo esclerocorneal. Este margen se ha cuantificado en 0.5 mm iniciales pero es necesario su comprobación clínica para corroborar su idoneidad.

Evaluación de la sagita de las córneas con queratocono

Para la estimación de la sagita de una lente de contacto de prueba es necesario relacionar antes distintos parámetros. La sagita de la lente de contacto tiene que ser menor que la SAGT ya que, como se ha explicado en el apartado anterior, el diámetro de esta lente también será menor. Para evaluar la distancia ΔS que es necesario restar a la SAGT para determinar la sagita de la LC, se ha realizado un cálculo a partir del ángulo periférico α (obtenido en un estudio paralelo) (ver

Il·lustració 37), donde S_c es la SAGT obtenida en el presente estudio y S_{LC} es la sagita de la lente de contacto que deseamos evaluar.



Il·lustració 37. Representació gràfica del càlcul de la sagita de la lent de contacte

Si D_c y D_{LC} son los diámetros de la córnea en el meridiano del ápex del queratocono y de la lente de contacto respectivamente, entonces podemos obtener la distancia necesaria que hay que restar a la SAGT: $\Delta S = \frac{(D_c - D_{LC})}{2} \tan \alpha$

Con el fin de no producir un efecto ortoqueratológico, incrementaremos el valor de la sagita en $35 \mu\text{m}$. Se trata de un valor numérico inicial, el cual necesita una confirmación en la práctica clínica, por lo tanto, no exento a cambios.

A partir de las especificaciones detalladas, se ha considerado la siguiente fórmula para la determinación de la sagita de la lente de contacto: $S_{LC} = S_c - \Delta S + 35 \mu\text{m}$

3.6 Resultados

La *Tabla 1* muestra la media y la desviación estándar de todos los parámetros del segmento anterior estudiados.

Parámetros segmento anterior	Media	Desviación estándar
SAGT	3030.87	± 347.35
wtw 180°	11.91	± 0.58
wtw meridiano queratocono	11.29	± 6.86
PCA	3.42	± 0.47
BFS	7.49	± 0.53
rmax	50.16	± 5.92
rmin	46.07	± 5.10
Potencia ápex corneal	52.81	± 7.90

Tabla 1. Media y desviación estándar de los parámetros del segmento anterior estudiados

3.6.1 Histograma de la orientación del meridiano del ápex del queratocono

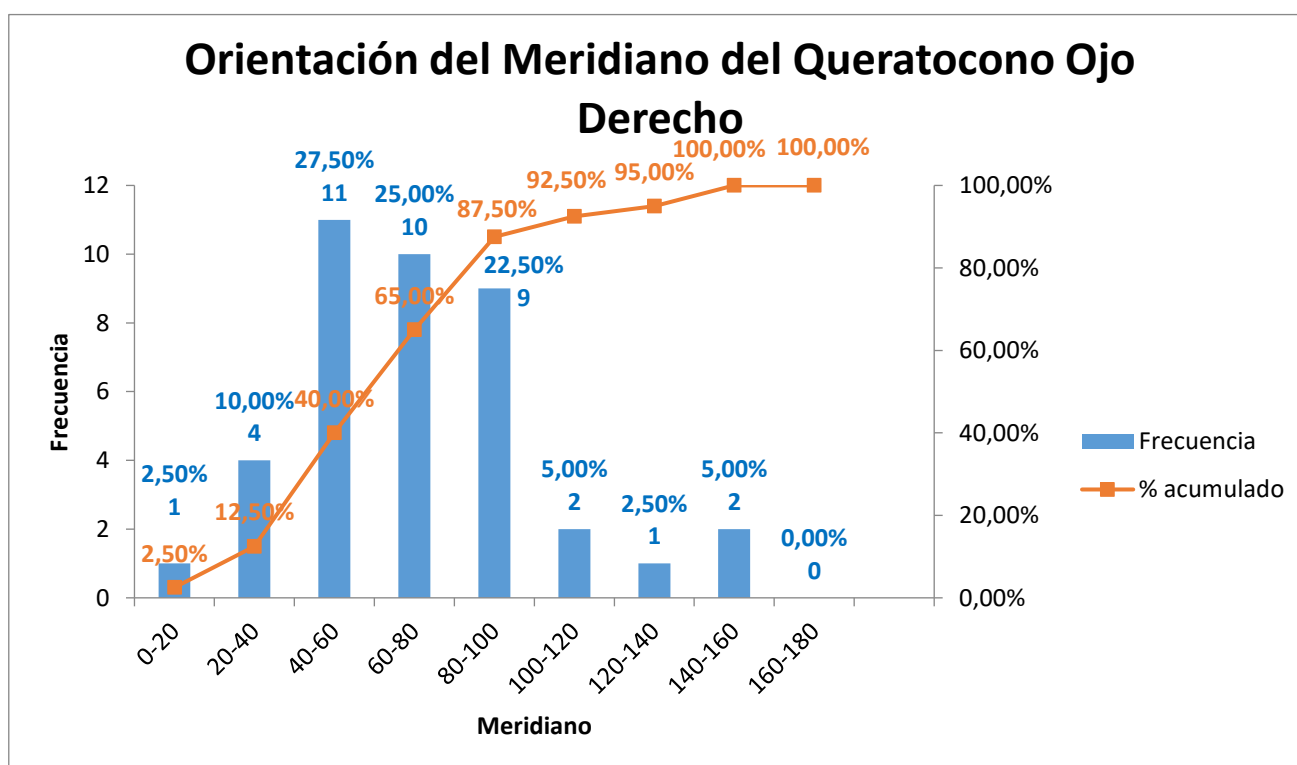


Gráfico 1. Histograma de la orientación del meridiano del ápex del queratocono para ojos derechos

El Gráfico 1 muestra un histograma de la orientación del meridiano en el que se encuentra el ápex del queratocono para los ojos derechos estudiados. Las barras azules nos indican las agrupaciones en pasos de 20° para estos ojos, obteniendo una mayor proporción (27.50%) de ojos con el ápex del queratocono en los meridianos comprendidos entre 40° y 60° seguido por los meridianos 60° a 80° (25.00%). La línea naranja del histograma marca el % acumulado de los ápex de los ojos con queratocono a lo largo de los meridianos, se observa que la mayor concentración de queratoconos en los ojos derechos se encuentra entre los meridianos 40° a 100° (75% de la muestra)

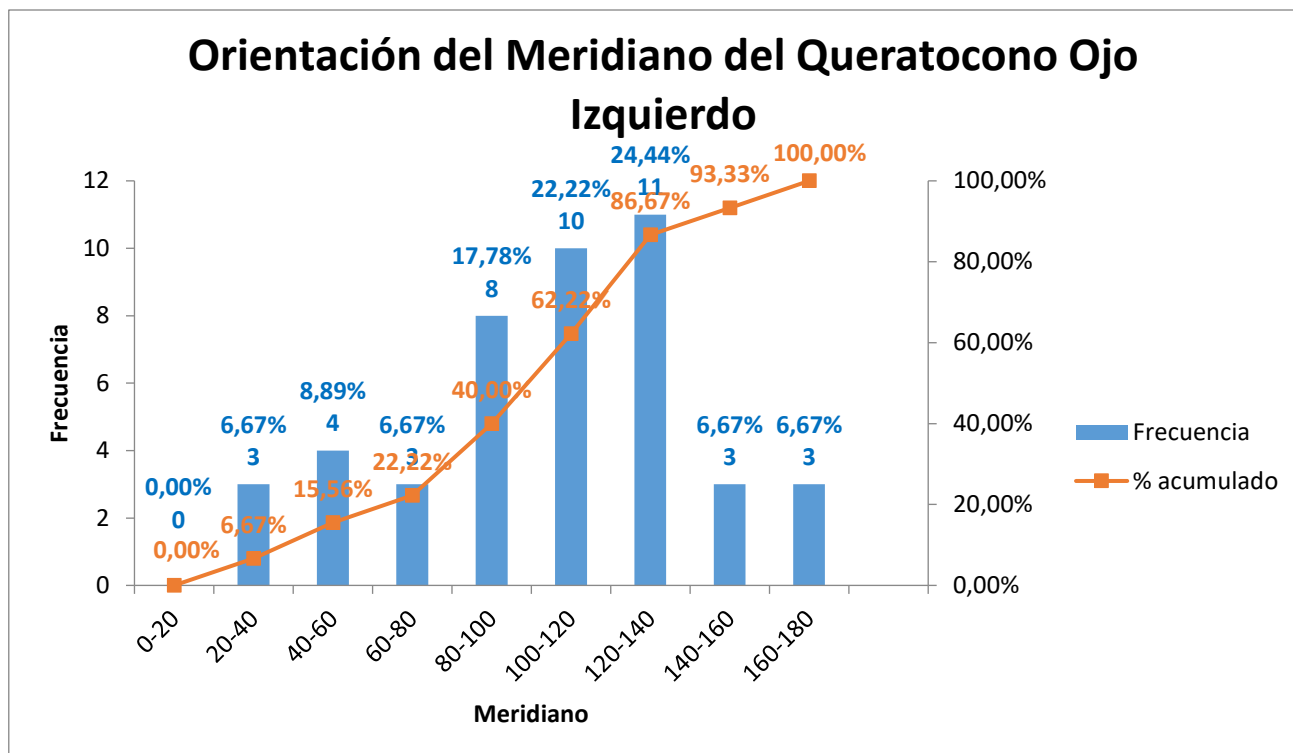


Gráfico 2. Histograma de la orientación del meridiano del ápex del queratocono para ojo izquierdos

El Gráfico 2 muestra el histograma de la orientación del meridiano en el que se encuentra el ápex del queratocono para los ojos izquierdos estudiados. Para los ojos izquierdos se obtiene una mayor proporción (24.44%) de ojos con el ápex del queratocono en los meridianos comprendidos entre 120° y 140° seguido por los meridianos 100° a 120° (22.22%). La línea naranja del histograma marca el % acumulado de los ápex de los ojos con queratocono a lo largo de los meridianos, se observa que la mayor concentración de queratoconos en los ojos izquierdos se encuentra entre los meridianos 80° a 140° (64.45%)

3.6.2 Análisis estadístico y cálculo del diámetro para una hipotética lente de contacto de prueba

Mediante el procedimiento detallado en el apartado de *Métodos*, se han calculado los diámetros de una hipotética caja de lentes de contacto de prueba. A partir de éstos se ha determinado el rango de diámetros que compondría dicha caja para cubrir el 90% de los casos estudiados.

Media de diámetro de la lente de contacto: 10.28 ± 0.49 mm

Por lo tanto, una hipotética caja de pruebas tendría que contener diámetros desde 9.79 mm hasta 10.77 mm

3.6.3 Análisis estadístico y cálculo de la profundidad sagital de una hipotética lente de contacto de prueba

Siguiendo el procedimiento para la obtención de la sagita corneal y los cálculos para determinar la sagita de la lente de contacto, se han obtenido los rangos de sagitas que compondría un caja de lentes de contacto de prueba para cubrir el 90% de los casos estudiados.

$$D_c \text{ media} = 11.29 \text{ mm}$$

$$D_{LC} \text{ media} = 10.28 \text{ mm}$$

$$\alpha \text{ media} = 31.26^\circ$$

Substituyendo los valores en la fórmula $(\Delta S = \frac{D_c - D_{LC}}{2} \tan \alpha)$ detallada en el apartado de

Procedimiento, obtenemos que el valor que hay que restarle a la sagita corneal es de $\Delta S = 306.56 \mu\text{m}$

Las sagitas medidas en el ápex del queratocono van de $2390 \mu\text{m}$ a $4000 \mu\text{m}$ y la media de sagitas obtenida y su desviación estándar es $= 3030.87 \pm 347.35 \mu\text{m}$. Por lo tanto, contemplando un 90% de los casos, y aplicando la fórmula $S_{LC} = S_c - \Delta S + 35 \mu\text{m}$, detallada en el apartado de *Procedimiento*, se obtiene que el rango de sagitas de la hipotética caja de pruebas tendría que ir de $2411.96 \mu\text{m}$ hasta $3106.66 \mu\text{m}$.

3.6.4 Correlación de la Profundidad Sagital Corneal (SAGT) con otros parámetros estudiados

Se ha correlacionado la SAGT con los distintos parámetros del segmento anterior estudiados con el fin de hallar algún parámetro que sea de utilidad a la hora de predecir el valor de la sagita de la posible lente de contacto que adaptásemos.

No se ha observado una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la SAGT de los queratoconos incipientes y los avanzados, por lo tanto, la correlación de la SAGT se ha realizado para un único grupo en común de queratoconos.

- Correlación de la SAGT con el wtw en el meridiano de 180°

El *Gráfico 3* representa la correlación lineal entre la SAGT, y el wtw a 180° . Para esta correlación, se ha utilizado el wtw a 180° obtenido con las herramientas del Pentacam, tal y como se ha detallado en el apartado de *Procedimiento*.

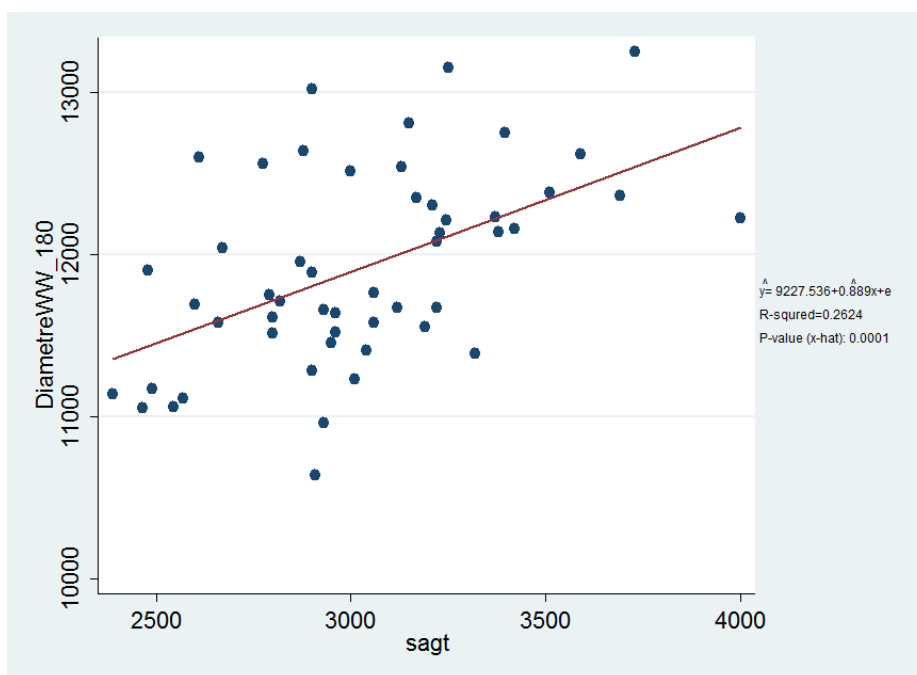


Gráfico 3. Correlación SAGT con wtw a 180°

El p-value = 0.0001 nos indica que existe una correlación significativa y el $R^2 = 0.2624$ que dicha correlación no es alta.

- Correlación de la SAGT con el wtw en el meridiano del ápex del queratocono

El Gráfico 4 representa la correlación lineal entre la SAGT, y el wtw en el meridiano en el que se encontró el queratocono en cada ojo obtenido de forma manual, con la misma metodología que con el de wtw a 180°

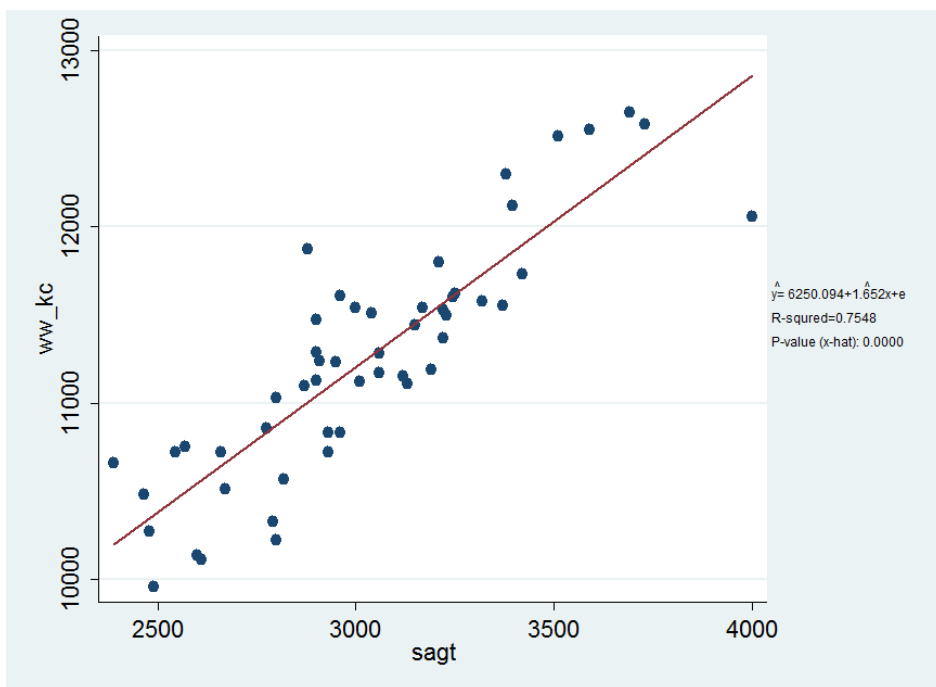


Gráfico 4. Correlación SAGT con wtw a 180° con wtw en el meridiano del queratocono

El $p\text{-value} < 0.0001$ nos indica que existe una correlación significativa y el $R^2 = 0.7548$ que dicha correlación no la consideramos alta, aunque sí mayor que la correlación con el wtw a 180°

- Correlación de la SAGT con la PCA

El Gráfico 5 representa la correlación lineal entre la SAGT y la PCA. De la misma forma que con el wtw, estos valores han sido obtenidos mediante las herramientas del Pentacam.

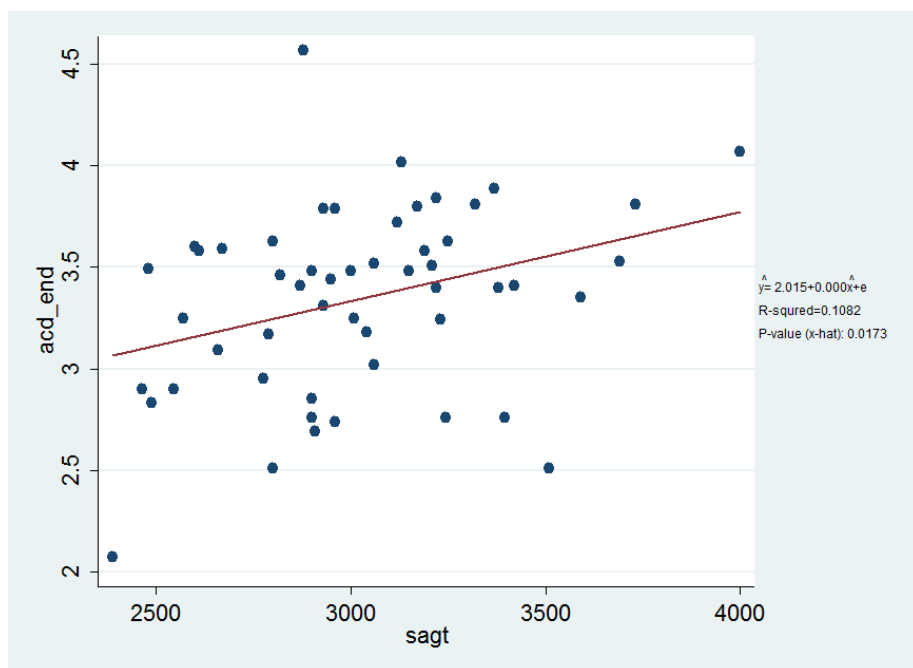


Gráfico 5. Correlación SAGT con la PCA

El p-value = 0.0173 nos indica que existe una correlación significativa y el $R^2 = 0.1082$ que dicha correlación es baja.

- Correlación de la SAGT con el BFS

El *Gráfico 6* representa la correlación lineal entre la SAGT, y BFS, parámetro proporcionado de forma automática por el propio instrumento.

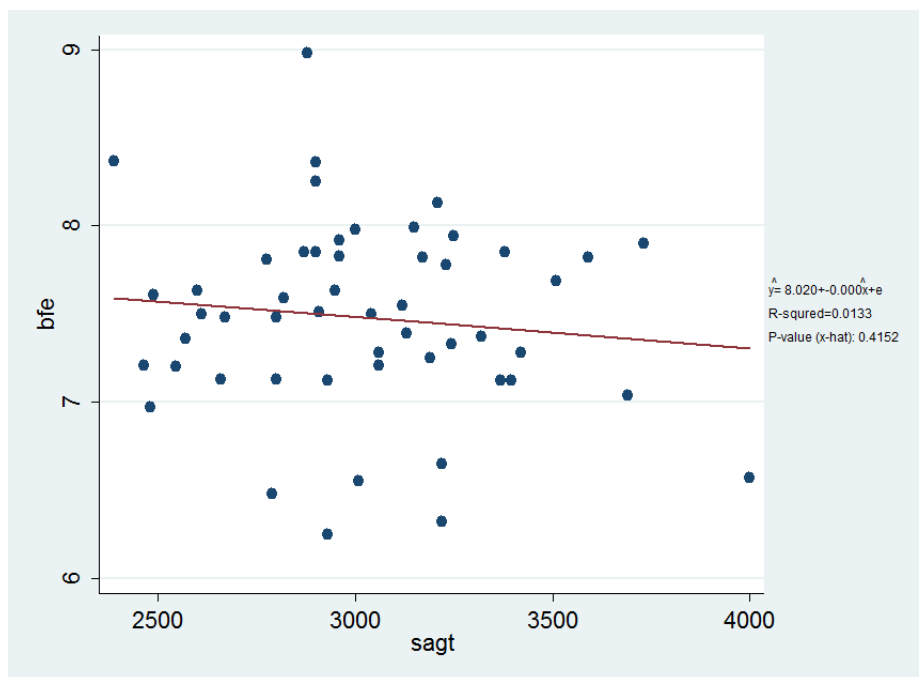


Gráfico 6. Correlación SAGT con BFS

El p-value = 0.41 nos indica que no existe una correlación significativa entre estos dos parámetros.

- Correlación de la SAGT con la simulación queratométrica (rmax)

El *Gráfico 7* representa la correlación lineal entre la SAGT, y el rmax (potencia del radio corneal de mayor curvatura). Es un parámetro proporcionado automáticamente por el instrumento a partir de la simulación queratométrica.

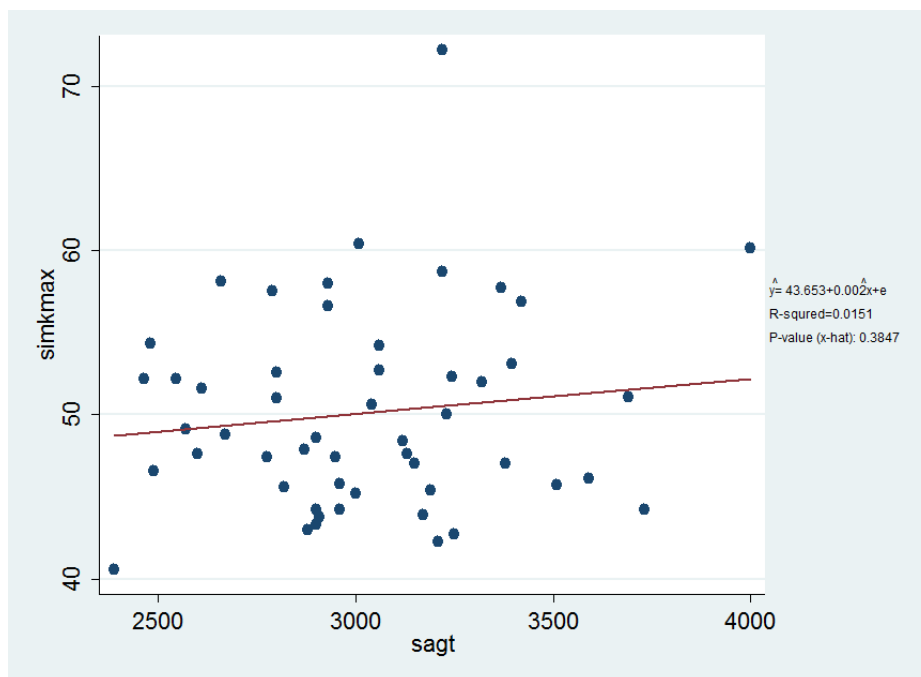


Gráfico 7. Correlación SAGT con rmax

El p-value = 0.3847 nos indica que no existe una correlación significativa entre ambos parámetros.

- Correlación de la SAGT con la simulación queratométrica (rmin)

El Gráfico 8 representa la correlación lineal entre la SAGT, y el rmin (potencia del radio corneal de menor curvatura). Es un parámetro proporcionado automáticamente por el instrumento a partir de la simulación queratométrica.

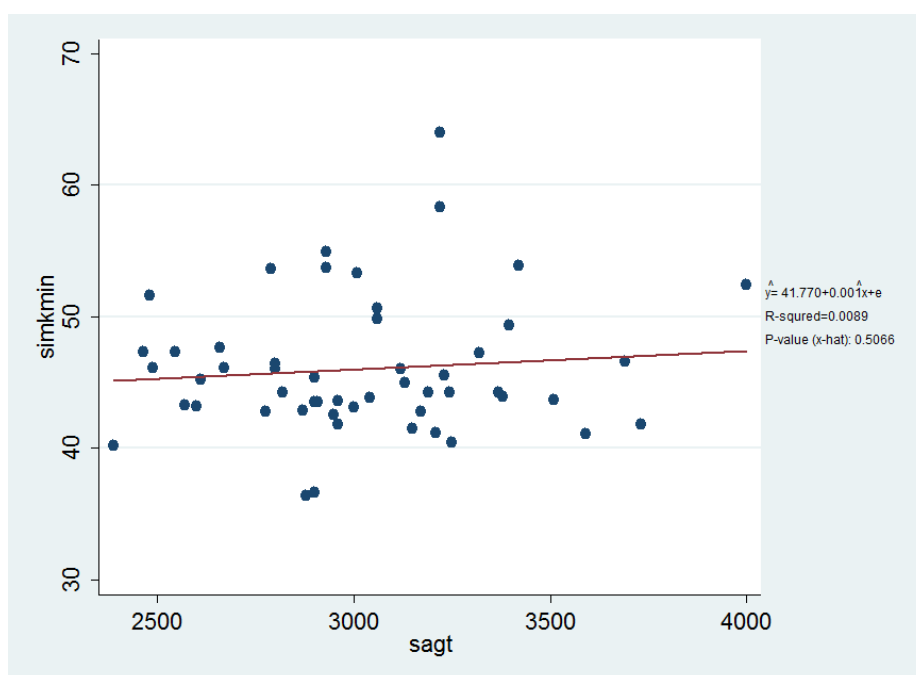


Gráfico 8. Correlación SAGT con rmin

El p-value = 0.5066 nos indica que no existe una correlación significativa entre ambos parámetros.

- Correlación de la SAGT con la potencia del ápex del queratocono

El *Gráfico 9* representa la correlación lineal entre la SAGT, y la potencia del ápex del queratocono, parámetro obtenido a partir de un mapa corneal tal y como se ha detallado en el apartado de *Procedimiento*.

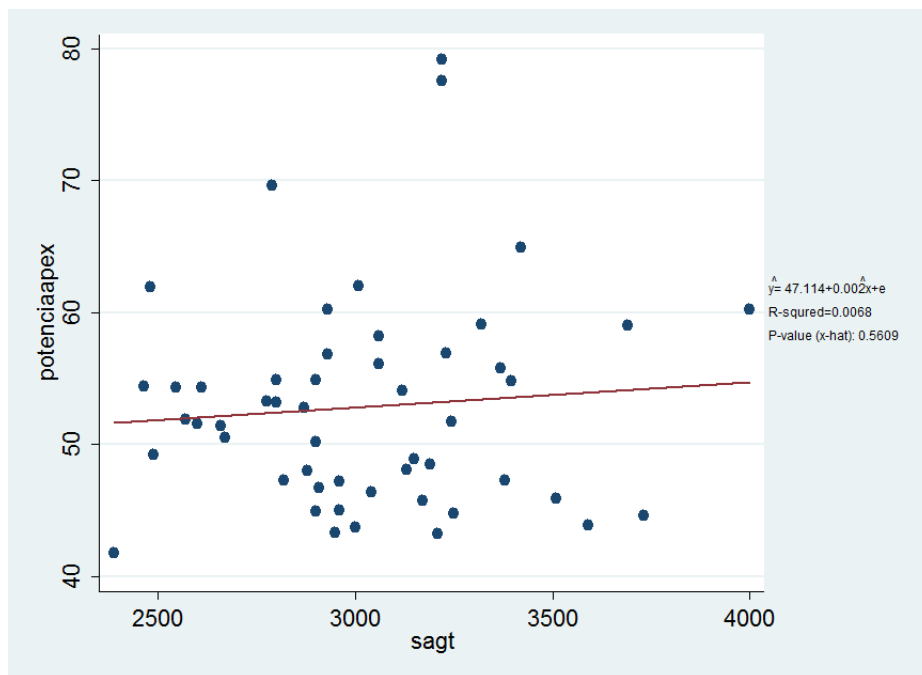


Gráfico 9. Correlación SAGT con potencia del ápex corneal

El p-value = 0.5609 nos indica que no existe una correlación significativa entre ambos parámetros.

4. DISCUSIÓN

El histograma de la orientación del meridiano del ápex del queratocono nos indica que la orientación del queratocono predomina entre los meridianos de 40° y 60° (23.53% de la muestra) para el ojo derecho y entre 120° y 140° (24.44% de la muestra) para el ojo izquierdo. Asimismo, mediante las coordenadas cartesianas empleadas para la detección del ápex, se ha detectado una mayor prevalencia en el área inferior temporal de los ápex del queratocono. Los resultados obtenidos concuerdan con la literatura científica actual⁶⁷, la cual sitúa la posición habitual de la protrusión en el área inferior temporal respecto al centro de la córnea.

Referente a las medidas del diámetro corneal, los valores del diámetro corneal horizontal (extraídos de un trabajo paralelo al presente) van desde 10.64 mm hasta 13.25 mm, con un valor medio de 11.84 mm. A partir de estos, se ha calculado el diámetro corneal vertical obteniendo un rango de valores que va desde $(0.91 \cdot 10.64) = 9.68$ mm para el diámetro más pequeño hasta $(0.91 \cdot 13.25) = 12.06$ mm para el mayor, con una media de $(0.91 \cdot 11.84) = 10.78$ mm. La diferencia entre la media de diámetro corneal horizontal y vertical es de 1.07 mm, valor concordante con el reportado en estudios recientes (*ver anexo Estudio del diámetro del iris vertical visible*), donde se refieren diámetros corneales verticales entre 0.92 mm y 1.09 mm más pequeños que los horizontales^{23,24,25}.

La *Tabla 2* muestra la recopilación de los valores de la significación estadística (p-value) y el coeficiente de determinación (R^2) obtenidos de la correlación de la profundidad de la sagita corneal en el meridiano del queratocono con los distintos parámetros corneales estudiados.

Parámetros corneales	p-value	R^2
wtw 180°	0.0001	0.2624
wtw meridiano queratocono	0.0001 <	0.7548
PCA	0.0173	0.1082
BFS	0.41	0.0133
rmax	0.3847	0.0151
rmin	0.5066	0.0089
Potencia ápex corneal	0.5609	0.0068

Tabla 2. Recopilación de los valores obtenidos de p-value y R^2 en la correlación de la SAGT con los distintos parámetros corneales medidos.

Los análisis estadísticos revelan una significación estadística entre la profundidad de la sagita corneal y algunos de los parámetros corneales estudiados. La estadística explica que un diámetro corneal mayor implica una mayor profundidad sagital corneal, obteniendo valores de predicción relativamente altos ($R^2 = 0.7548$) en los meridianos correspondientes al ápex del queratocono. En relación a la PCA, también se observa un incremento de ésta en función de la profundidad de la sagita corneal, sin embargo con un poder de predicción notablemente inferior a los valores obtenidos para el diámetro corneal.

Por otro lado, la estadística revela que no existe correlación de la SAGT con la BFS, el r_{max} , el r_{min} y la potencia en el ápex corneal.

A partir de los datos obtenidos, podemos considerar que el diámetro corneal en el meridiano del ápex del queratocono es el único parámetro con suficiente capacidad de predicción para utilizar como guía clínico para determinar la sagita.

5. CONCLUSIONES

- La posición más frecuente del queratocono se encuentra en el cuadrante temporal inferior, en el meridiano de 20° - 40° del ojo derecho con un 27.50% de la muestra y en el meridiano de 120° - 140° en el ojo izquierdo con un 24.44% de la muestra.
- No se ha identificado en la muestra ningún queratocono en el meridiano 160° - 180° para el ojo derecho, ni en el meridiano de 0° - 20° para el ojo izquierdo.
- No se ha observado una diferencia significativa entre la profundidad sagital corneal en el meridiano de los queratoconos entre los estadios incipientes y avanzados
- La relación de medida entre el diámetro corneal vertical y el horizontal es del 91%.
- El diámetro corneal medido en el meridiano del ápex del queratocono es el único parámetro con suficiente capacidad de predicción para utilizar como guía clínico para determinar la sagita.
- El rango de diámetros de lentes de contacto para casos de queratocono en una caja de pruebas debería ser de 9.79 mm hasta 10.77 mm.
- El rango de sagitas de lentes de contacto para casos de queratocono en una caja de pruebas debería ser de 2411.96 μm hasta 3106.66 μm .

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Maurice DM. *The cornea and sclera*, in *The Eye*, Davson H, volume 1. Academic Press. New York, San Francisco and London, 1977:289-368.
- [2] Korb DR, Craig J, Doughty M, Guillon J, Smith G, Tomlinson A. *The Tear Film: Structure, Function and Clinical Examination*. BCLA, 2002.
- [3] Arffa R C. Grayson *Enfermedades de la Córnea*. Tomo 1. Anatomía. Cuarta edición. Harcourt Brace 1999.
- [4] Barraquer R.I. De Toledo MC. Torres E. *Distrofias y degeneraciones corneales*. Atlas y texto. Sección 2: La cornea normal. Barcelona ESPAXS, S.A. 2004.
- [5] Krachmer J. H., Feder R. S., Belin M. W. Keratoconus and related noninflammatory corneal thinning disorders. *Survey of Ophthalmology*. 1984;28(4):293–322. doi: 10.1016/0039-6257(84)90094-8.
- [6] Rabinowitz Y. S. Keratoconus. *Survey of Ophthalmology*. 1998;42(4):297–319. doi: 10.1016/S0039-6257(97)00119-7.
- [7] D.P. Piñero, J.C. Nieto, A. Lopez-Miquel. Characterization of corneal structure in keratoconus. *J. Cataract Refract. Surg.*, 38 (2012), pp. 2167–2183
- [8] Ariela Gordon-Shaag, Michel Millodot, Einat Shneor, and Yutao Liu. The Genetic and Environmental Factors for Keratoconus. *Biomed Res Int*. 2015; 2015: 795738.
- [9] Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol* 1998; 42:297–319.
- [10] Han-Born Fam, FRCSE, Kooi-Ling Lim, BOptom. Corneal elevation indices in normal and keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2006 Aug; 32: 1281-1286.
- [11] Varssano D, Kaiserman I, Hazarbassanov R. Topographic Patterns in Refractive Surgery Candidates. *Cornea* 2004; 23: 602-7.
- [12] Davidson A. E., Hayes S., Hardcastle A. J., Tuft S. J. The pathogenesis of keratoconus. *Eye*. 2014;28(2):189–195. doi: 10.1038/eye.2013.278
- [13] Eye Banking Statistical Report. (2008) Eye Bank Association of America, Washington, DC.
- [14] Belin MW, Duncan JK. *Klin Monbl Augenheilkd*. Keratoconus: The ABCD Grading System. . 2016 Jun;233(6):701-7. doi: 10.1055/s-0042-100626.

- [15] Kamiya K, Ishii R, Shimizu K, Igarashi A. Evaluation of corneal elevation, pachymetry and keratometry in keratoconic eyes with respect to the stage of Amsler-Krumeich classification. *Br J Ophthalmol*. 2014 Apr;98(4):459-63.
- [16] Wallang BS, Das S. Keratoglobus. *Eye (Lond)*. 2013; 27(9): 1004-1012
- [17] Jacobs DS, Green WR, Maumenee AE. Acquired keratoglobus. *Am J Ophthalmol*. 1974; 77(3): 393-399
- [18] Baillif S, Garweg JG, Grange JD, Burillon C, Kodjikian L. [Keratoglobus: review of the literature]. *K Fr Ophtalmol*. 2005; 28(10): 1145-1149
- [19] Cavara V. Keratoglobus and keratoconos. A contribution to the nosological interpretation of keratoglobus. *Br K Ophthalmol*. 1950; 34(10): 621-626
- [20] Max-Aixala, E, Gispests J., Lupón, N., Cardona, G. The variability of corneal and anterior segment parameters in keratoconus.. 2016 Source of the Document Contact Lens and Anterior Eye Volume 39, Issue 6, December 2016, Pages 466–470
- [21] H. Shankar, D. Taranath, C.T. Santhirathelagan, K. Pesudovs, Anterior segment biometry with the Pentacam: comprehensive assessment of repeatability of automated measurements, *J. Cataract Refract. Surg.* 34 (2008) 103–113.
- [22] R. Shetty, V. Arora, C. Jayadev, R.M. Nuijts, M. Kumar, N.K. Puttaiah, et al., Repeatability and agreement of three Scheimpflug-based imaging systems for measuring anterior segment parameters in keratoconus, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 55 (2014) 5263–5268.
- [23] Khng, C. and Osher, R.H (2008) Evaluation of the relationship between corneal diameter and lens diameter, *J. Cataract Refract. Surg.*, 34, 475-9.
- [24] Iyamu E, Osuoben E. Age, gender, corneal diameter, corneal curvature and central corneal thickness in Nigerians with normal intra ocular pressure. *J Optom* 2012 5 87-97.
- [25] Lee, Jeong-Yun; Youk, Do-Jin; Lee, Ji-Young; A Relationship Between Visible Iris Diameter and Palpebral Aperture Size: Considered to Solve Uncomfortable Feeling of Soft Contact Lens. *Journal of Korean Ophthalmic Optics Society*. Volume 19, Issue 3, 2014, pp.285-293
- [26] Sorbara, L.; Chong, T. and Fonn, D. Visual Acuity, Lens Flexure, and Residual Astigmatism of Keratoconic Eyes as a Function of Back Optic Zone Radius of Rigid Lenses. *Contact Lens & Anterior Eye : The Journal of the British Contact Lens Association*, 2000, vol. 23, no. 2, pp. 48- 52.
- [27] Jessen_G, "Orthofocus Techniques," *Contacto*, 6:200, 1962

- [28]. Swarbrick_HA, Wong_G, O'Leary_DJ, "Corneal Response to Orthokeratology," *Optometry and Vision Science*, 75:11, November 1998
- [29] Alharbi_A, Swarbrick_HA, "The Effects of Overnight Orthokeratology Lens Wear on Corneal Thickness," *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 44:6, June 2003
- [30] El Hage_S, "Photokeratoscopy and Controlled Keratoreformation," paper presented at the International Symposium of Ophthalmological Optics, Tokyo, Japan, May 1978
- [31] Morrison_RJ, "Contact Lenses and the Progression of Myopia," *Optometry Weekly*, 1956, 47, 1487–1488
- [32] Reim_TR, "Overflowing With Ortho-k," *Optometric Management*, December 1998, 36–39
- [33] Marsden_HJ, "Common Sense Orthokeratology," *Contact Lens Spectrum*, Oct. 1995, 24–31
- [34] Mountford_J, *Orthokeratology in Contact Lenses*, Butterworth–Heinemann, Oxford UK, 1997, 653–692
- [35] Schachet_JL, "Optimal Lens Choices for Orthokeratology,"
- [36] Horner_DG, Bryant_MK, "Take Another Look at Today's Ortho-k," *Review of Optometry*, June 1994
- [37] Polse_KA, Brand_RJ, Vastine_DW, Schwalbe_JS, "Corneal Change Accompanying Orthokeratology: Plastic or Elastic?," *Archives of Ophthalmology*, Vol. 101, 1983
- [38] Polse_KA, Brand_RJ, Schwalbe_JS, Vastine_DW, Keener_RJ, "The Berkeley Orthokeratology Study, Part II: Efficacy and Duration," *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, Vol. 60, No. 3, 1983, 187–198
- [39] Alió JL, Piñero DP, Alesón A, Teus MA, Barraquer RI, Murta J, Maldonado MJ, et al. Keratoconus-integrated characterization considering anterior corneal aberrations, internal astigmatism, and corneal biomechanics. *J Cataract Refract Surg*. 2011 Mar;37(3):552-68.
- [40] Ladan Espandar and Jay Meyer Keratoconus: Overview and Update on Treatment Middle East Afr J Ophthalmol. 2010 Jan-Mar; 17(1): 15–20.
- [41] Miháltz, K., Kovács, I., Takács, Á., Nagy. Evaluation of keratometric, pachymetric, and elevation parameters of keratoconic corneas with pentacam, *Z.Z.* Volume 28, Issue 9, October 2009, Pages 976-980

[42] Nikhil S Gokhale, *Epidemiology of keratoconus Indian J Ophthalmol.* 2013 Aug; 61(8): 382–383.

[43] L. Sorbara, J. Maram, K. Mueller, *Use of the VisanteTM OCT to measure the sagittal depth and scleral shape of keratoconus compared to normal corneae: Pilot study, J. Optom.* 06 (2013) 141–146.

7. ANEXOS

I. Estudio del diámetro del iris vertical visible (VVID)

El diámetro corneal es clínicamente importante por varias razones, por ejemplo, para garantizar que el diámetro de una lente de contacto sea suficiente para cubrir la superficie de la córnea. Sin embargo, no es mucha la información existente relativa al cálculo de las dimensiones del diámetro corneal o diámetro de iris vertical visible (VVID).

El primer estudio en el que se hace referencia la medida del diámetro corneal vertical es en el de Khng.C. y Osher²³ en el 2008. En dicho estudio se midió el diámetro horizontal de iris visible (HVID) y VVID en cadáveres humanos de personas caucásicas mediante un calibrador ocular de Castroviejo. El HVID medio obtenido fue de 11.46 mm mientras que la media del VVID fue de 10.63 mm. La diferencia entre HVID y VVID en este estudio es de 0.83 mm, porcentualmente el HVID es 7.25% mayor que el VVID.

En el 2012, parte del estudio realizado por Iyumu E. y Osuobeni E.²⁴ consistió en la medida del VVID, mediante una regla milimétrica, en un sector de población nigeriana en función de su edad y del sexo. Los valores medios obtenidos para el diámetro corneal fueron de 11.39 mm para el HVID y 10.51 mm para el VVID. Respecto al género y la edad, no observó una interacción significativa con el diámetro corneal. La diferencia entre HVID y VVID en este estudio es de 0.88 mm, porcentualmente el HVID es 7.73% mayor que el VVID.

El estudio más reciente (2014) el cual contiene información acerca de la medida del VVID, es el realizado por Lee Jeong-Yun, Youk Do-Jin y Lee Ji-Young²⁵ en el que entre otros parámetros, se analizó el diámetro corneal en estudiantes coreanos en función de la edad y el sexo (medición mediante regla milimétrica). El valor medio del HVID fue de 11.70 mm y para el VVID fue de 10.61. De la misma forma que en estudios anteriores, en este caso tampoco se encontraron diferencias significativas en cuanto a género y edad. La diferencia entre HVID y VVID en este estudio es de 1.09 mm, porcentualmente el HVID es 9.32% mayor que el VVID.

II. Citaciones de las clasificaciones del queratocono en la literatura científica

Amsler-Krumeich 211 citaciones

Amsler M. Le keratocone fruste au javal. *Ophthalmologica* 1938;96:77-83

Amsler M. Keratocone classique et keratocone fruste, arguments unitaires. *Ophthalmologica* 1946;111:96-101

Krumeich JH, Daniel J. Live epikeratophakia and deep lamellar keratoplasty for I-III stage-specific surgical treatment of kerato-conus [German]. *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 1997;211:94-100

Krumeich JH, Kezirian GM. Circular keratotomy to reduce astigmatism and improve vision in stage I and II keratoconus. *J Refract Surg.* 2009 Apr;25(4):357-65

CLEK 120 citaciones

Barr JT, Wilson BS, Gordon MO, et al. Estimation of the incidence and factors predictive of corneal scarring in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. *Cornea.* 2006;25:16–25

Hom 77 citaciones

Hom M., Bruce AS. *Manual of Contact Lens Prescribing and Fitting.* London: Butterworth-Heineman, 2006:503–544

Bennett E, Cutler S. Keratoconus. In: Bennett ES, Hom, MM, eds. *Manual of gas permeable contact lenses.* Philadelphia: Lippincott, 2004:237

Rabinowitz YS. Corneal topography. In: Bennett ES, Weissman BA, eds. *Clinical Contact Lens Practice.* Philadelphia, PA: Lippincott, Williams and Wilkins; 2005:215–232

Buxton 72 citaciones

HD Perry, JN Buxton, BS Fine Round and oval cones in keratoconus
- *Ophthalmology*, 1980

Avitabile 25 citaciones

T Avitabile, F Marano, F Castiglione, A Reibaldi - Keratoconus staging with ultrasound biomicroscopy Ophthalmologica, 1998 - karger.com

ABCD 2 citaciones

Belin MW, Duncan JK. Keratoconus: The ABCD Grading System. Klin Monbl Augenheilkd. 2016 Jun;233(6):701-7. doi: 10.1055/s-0042-100626.

